



Российская Академия Наук

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт водных проблем РАН

**ДИФфуЗНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ
ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ:
ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ**

Коллективная монография
под рук. В.И. Данилова-Данильяна

Москва
2020

УДК 556.18:626/628

ББК Д220.8

В 62

Диффузное загрязнение водных объектов: проблемы и решения. Коллективная монография под рук. В.И. Данилова-Данильяна. – М.: РАН, 2020. – 512 с.

ISBN 978-5-907036-79-6

Предлагаемая книга является первой в России монографией по проблеме диффузного загрязнения природных вод. В работе представлены: типизация и основные признаки источников диффузного загрязнения, особенности его вредного воздействия на водные объекты, приоритетные загрязняющие вещества для основных видов диффузного загрязнения, характеристика его источников по их влиянию на экологическое состояние водных объектов и ряд других теоретических и прикладных результатов. До настоящего времени диффузное загрязнение водных объектов в России остаётся вне сферы государственного регулирования, вне системы мониторинга состояния окружающей среды и антропогенных воздействий на неё, проводившиеся ранее исследования носили частный характер и не давали системного представления о проблеме. В монографии излагаются основные результаты исследований по федеральному проекту «Оздоровление Волги», посвящённые проблеме диффузного загрязнения Волжского бассейна, все теоретические и прикладные результаты иллюстрируются на примерах пилотных объектов этих исследований.

Для научных работников и специалистов в области управления водными ресурсами, исследования качества воды, мониторинга состояния водных объектов и антропогенных воздействий на них, аспирантов и студентов соответствующих специализаций.

Табл. 51. Ил. 194. Библиогр.: 429 назв.

Исследование выполнено в соответствии с поисковой темой № 0126-2019-0038 Государственного задания Института водных проблем РАН (№ государственной регистрации АААА-А18-118061800142-8), а также в рамках темы № 0147-2019-0004 (№ государственной регистрации АААА-А19-119040990079-3).

ISBN 978-5-907036-79-6

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт водных проблем Российской академии наук, 2020
© Коллектив авторов, 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение (<i>Данилов-Данильян В.И.</i>)	7
Благодарности (<i>Данилов-Данильян В.И.</i>)	16
ГЛАВА 1	
Научные и прикладные аспекты проблемы диффузного загрязнения водных объектов: обзор мирового опыта	18
1.1 Природный и антропогенный механизмы возникновения диффузного загрязнения	18
1.1.1 Особенности источников диффузного и сосредоточенного загрязнения природных вод (<i>Полянин В.О.</i>)	18
1.1.2 Типизация источников диффузного загрязнения (<i>Полянин В.О.</i>)	23
1.1.3 Факторы диффузного загрязнения по видам хозяйственной деятельности (<i>Остякова А.В., Кирпичникова Н.В., Григорьева И.Л., Волкова З.В., Кирейчева Л.В., Лепихин А.П., Полянин В.О.</i>)	27
1.2 Расчетные методы оценки характеристик диффузного загрязнения	71
1.2.1 Методы оценки диффузного загрязнения по эмпирическим данным (<i>Веницианов Е.В., Кирпичникова Н.В.</i>)	71
1.2.2 Гидролого-гидрохимические модели формирования диффузного загрязнения (<i>Фащевская Т.Б., Мотовилов Ю.Г., Алгушаева А.В.</i>)	102
1.3 Мониторинг диффузного загрязнения (<i>Полянин В.О.</i>)	126
1.3.1 Методы получения информации	129
1.3.2 Выбор проектов мониторинга	139
1.3.3 Принципы организации мониторинга	144
1.3.4 Особенности мониторинга отдельных видов хозяйственной деятельности, процессов и объектов природной среды	148
1.4 Зарубежный опыт защиты водных объектов от диффузного загрязнения (<i>Полянин В.О., Беляев С.Д.</i>)	156
1.4.1 Опыт Европейского союза	152
1.4.2 Опыт США и стран за пределами Европы	171

ГЛАВА 2

Загрязнение водных объектов в бассейне Волги:

вклад диффузных источников

198

2.1 Масштаб и многолетняя динамика загрязнения водных объектов бассейна Волги

198

2.1.1 Водохозяйственная система, водопотребление и водоотведение в бассейне Волги в постсоветский период (1990 – 2018 гг.)

(Демин А.П.)

198

2.1.2 Сброс загрязняющих веществ в составе сточных вод промышленных предприятий *(Демин А.П.)*

206

2.1.3 Поступление загрязняющих веществ от диффузных источников *(Фацевская Т.Б., Демин А.П., Вишневская И.А.)*

208

2.1.4 Изменение качества воды водных объектов в бассейне Волги *(Демин А.П.)*

215

2.2 Оценка вклада диффузных источников в общее загрязнение водных объектов бассейна Волги

226

2.2.1 Динамика диффузного загрязнения на водосборе Иваньковского водохранилища *(Кирпичникова Н.В.)*

226

2.2.2 Загрязнение тяжелыми металлами водотоков в бассейне Нижнекамского водохранилища *(Фацевская Т.Б., Мотовилов Ю.Г.)*

236

2.2.3 Загрязнение нефтепродуктами участка Волги в районе Бурнаковской низины *(Кучмин А.В., Обязов В.А., Подлипский И.И., Виноградов А.Ю., Полянин В.О.)*

249

2.2.4 Биогенное загрязнение малых рек водосбора Чебоксарского водохранилища *(Ясинский С.В., Кацутина Е.А., Сидорова М.В., Нарыков А.Н.)*

257

2.2.5 Загрязнение р. Камы (Камского водохранилища) в районе разработки месторождения калийных и магниевых солей *(Лепихин А.П., Возняк А.А., Любимова Т.П., Паршакова Я.Н., Ляхин Ю.С., Богомолов А.В., Синцова Т.Н.)*

270

2.2.6 Загрязнение озера Неро поверхностными сточными водами г. Ростова *(Болгов М.В., Завьялова Е.В., Зайцева А.В., Коробкина Е.А., Филипова И.А.)*

288

2.2.7 Аэротехногенное загрязнение тяжелыми металлами ручья в зоне выбросов металлургического предприятия *(Федорова Е.В., Беляев С.Д., Полянин В.О.)*

296

ГЛАВА 3

Концепция по снижению диффузного загрязнения водных объектов в бассейне Волги	306
3.1 Цели, задачи, базовые принципы реализации Концепции <i>(Полянин В.О.)</i>	308
3.2 Основные направления реализации Концепции	315
3.2.1 Развитие существующей системы мониторинга качества поверхностных вод и антропогенных воздействий с учетом диффузного загрязнения <i>(Полянин В.О., Беляев С.Д.)</i>	315
3.2.2 Развитие нормативно-правовой базы в области охраны вод с учетом роли диффузного загрязнения водных объектов <i>(Беляев С.Д., Розенталь О.М.)</i>	323
3.2.3 Совершенствование системы оценки качества вод и экологического состояния водных объектов с учетом диффузных источников формирования химического состава вод и их фонового состояния <i>(Беляев С.Д.)</i>	348
3.3 Рекомендации по кадровому обеспечению реализации Концепции <i>(Елизарьев А.Н., Полянин В.О.)</i>	356
3.4 Организация и планирование водоохранной деятельности в целях снижения диффузного загрязнения водных объектов	374
3.4.1 Экологический каркас речного водосбора <i>(Курбатова И.Е.)</i>	375
3.4.2 Восстановление рек <i>(Полянин В.О.)</i>	379
3.4.3 Факторы негативного воздействия и общие рекомендации по снижению поступления загрязняющих веществ от диффузных источников <i>(Полянин В.О., Кирпичникова Н.В., Фащевская Т.Б.)</i>	381
3.5 Показатели эффективности внедрения Концепции по снижению диффузнозагрязнения в бассейне Волги в экономической и экологической сферах <i>(Данилов-Данильян В.И.)</i>	399

ГЛАВА 4

Примеры систем информационной поддержки принятия решений по охране водных объектов бассейна Волги от диффузного загрязнения	406
4.1 Геоинформационная система «Риск диффузного загрязнения в бассейне Волги» (<i>Кирпичникова Н.В., Козлова М.А., Вишневецкая И.А.</i>)	406
4.1.1 Общие сведения	406
4.1.2 Выбор ГИС для реализации проекта	407
4.1.3 Описание ГИС «Риск диффузного загрязнения бассейна Волги»	408
4.2 Прототип экспертной системы для пилотных водных объектов в бассейне Волги (<i>Козлова М.А., Кирпичникова Н.В., Бородин О.О.</i>)	436
4.2.1 Описание прототипа экспертной системы	436
4.2.2 Структура и наполнение прототипа экспертной системы	440
4.3 Информационно-моделирующий комплекс на основе математических моделей формирования водного и химического стока в системе «водосбор – водоем» (на примере Куйбышевского водохранилища) (<i>Мотовилов Ю.Г., Голосов С.Д., Даценко Ю.С., Зверев И.С., Кондратьев С.А., Пуклаков В.В., Фащевская Т.Б.</i>)	456
4.3.1 Модель формирования водного и химического стока на водосборе Нижнекамского водохранилища ЕСОМАГ	457
4.3.2 Гидрологическая модель трансформации качества воды в Нижнекамском водохранилище (ГМВ–МГУ)	462
4.3.3 3D-моделирование гидрофизических и химико-биологических процессов в Куйбышевском водохранилище	467
Список литературы	474
Список аббревиатур	510

ВВЕДЕНИЕ

В 2017 году – а это был «Год экологии» в России – стартовал федеральный приоритетный проект «Оздоровление Волги». Паспорт проекта утвержден Протоколом заседания Президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и приоритетным проектам от 30.08.2017, сводный план – Протоколом проектного комитета по основному направлению стратегического развития Российской Федерации от 25.01.2018. Период выполнения работ по проекту – 2018–2025 годы, запланированный объем финансирования – почти четверть триллиона рублей.

Такие масштабы совершенно беспрецедентны для природоохранной деятельности в нашей стране. Достаточны ли эти масштабы для осуществления всего, что необходимо для наведения полного экологического порядка в бассейне великой русской реки? Или этот приоритетный проект с совершенно эксклюзивными затратами на его реализацию только первый шаг к оздоровлению крупнейшей реки Европы? Попробуем разобраться в этом вопросе.

Прежде всего надо заметить, что любой специалист-водник, знакомый с хозяйственной ситуацией – не в бассейне Волги в целом, не на территории какого-либо волжского субъекта федерации, а хотя бы отдельного административного района в этом бассейне, – посмотрев на упомянутый выше сводный план, сразу спросит: а где же тут?.. И назовет немало объектов в своем районе, которые оказывают значимое негативное экологическое воздействие на водные объекты, требуют сокращения этого воздействия, но даже не упомянуты в документе. Подчеркну: любого административного района, а таковых в 38 волжских субъектах федерации в среднем по два десятка на субъект, да к ним еще городские округа. Стало быть, проект охватывает далеко не все (на самом деле – малую часть, если считать поштучно) объекты, которые необходимо каким-либо образом изменить (или заменить) для сокращения негативного воздействия на Волгу и ее притоки, ее водосбор, связанные с нею подземные воды и т.д. – а надо охватить все, что определяет качество воды реки и здоровье экосистем ее бассейна.

Теперь посмотрим с другой стороны: может быть, не все, предусмотренное проектом, на самом деле необходимо, можно найти скрытые финансовые резервы и использовать их для обеспечения непредусмотренных действий? Почти все инвестиционные мероприятия, указанные в паспорте проекта, – очистные сооружения на предприятиях ЖКХ, в меньшей степени – других отраслей экономики, а также раз-

ные меры по очистке русла реки и т.п. Среди них нет ни одного, которое кажется ненужным. Более того, можно не сомневаться в том, что для осуществления в полной мере большинства из них выделяемых средств не хватит.

Уже этих простейших соображений достаточно, чтобы согласиться: проект «Оздоровление Волги» только первый шаг к цели, декларированной в его названии. А сколько требуется средств для ее достижения в полном объеме? Этого никто не считал, да и сама задача подобного счета настолько трудоемка и сложна, что для ее решения понадобился бы не один год, огромные затраты и армия специалистов, которых сегодня у нас попросту нет. Вполне адекватное представление о затратах, необходимых для сокращения диффузного загрязнения, сроках выполнения соответствующих программ и принципах организации этой работы на основе взаимодействия органов власти, бизнеса и населения читатель получит из материалов по зарубежному опыту в главе 1 настоящей коллективной монографии.

Неспециалисты по гидрологии и гидротехнике нередко высказывают мнение, что единственный (во всяком случае – наилучший) способ оздоровить Волгу – вернуть ее в исходное, естественное состояние, и требуется, прежде всего, ликвидировать все плотины Волжско-Камского каскада. При этом говорят, что из всей электроэнергии, вырабатываемой в России, на долю электростанций этого каскада приходится менее 3% – без них можно обойтись, освободятся весьма значительные территории и т.д. К сожалению, не все так просто.

В 1987 году Госэкспертиза Госплана СССР рассматривала проект спуска Рыбинского водохранилища и признала эту идею неприемлемой. Затраты на перестройку энергетики, транспортного хозяйства, водоснабжения в пересчете на современные цены составили бы заведомо гораздо более 1 триллиона рублей (из-за ликвидации только одного из 11 водохранилищ каскада). В границах ложа водоема на площади не менее 450 тыс. га сформировались донные отложения, вся эта территория после спуска водохранилища была бы совершенно непригодна ни для какого хозяйственного использования не менее 100 лет (по оценкам некоторых экспертов – 300–400 лет!), а выветривание высохших донных отложений привело бы к загрязнению многократно более обширных земель. Со времени проведения госплановской экспертизы прошло 33 года, и даже без измерений ясно, что седиментация активно продолжалась, а химический состав осадков становился все более разнообразным и опасным.

Но не одно только Рыбинское – все водохранилища каскада работают как отстойники, и при том объеме поступления в Волгу загрязняющих веществ (ЗВ), который имеет место в настоящее время, вода в ней от Конакова до Астрахани без этой работы была бы экстремально (запретельно!) грязной, а экосистема полностью бы деградировала. Для того

чтобы предотвратить такое чудовищное загрязнение, необходимо радикально перестроить больше половины российской экономики. Так что не будем задаваться праздным вопросом: надо было строить Волжско-Камский каскад или следовало выбрать принципиально другой путь развития экономики. История, как известно, не признает сослагательно-го наклонения.

Каскад сооружен, и нам надо понять, как строить свою жизнь в условиях его существования, неизбежного, по крайней мере, еще на несколько десятилетий. Экологическая ситуация на Волге уже довольно давно стабилизировалась на неудовлетворительном уровне. С небольшими колебаниями в зависимости от экономических и климатических причин она бывает немного лучше, немного хуже, но нет никакого существенного тренда, кроме тренда износа оборудования – как основного, так и, тем более, природоохранного.

Как формировался список объектов инвестирования, включенных в приоритетный федеральный проект «Оздоровление Волги»? Увы, сказать, что это делалось на прочной научной основе, никак нельзя. Сначала вообще предполагали включать в этот список объекты только «стволовых» субъектов федерации (то есть тех, через которые проходит русло самой Волги, а не ее притоков), но в Институте водных проблем РАН провели простые расчеты (сложных не понадобилось) и показали, что к самым значимым загрязнителям относятся такие «нестоловые» субъекты, как Московская область, Башкирия, Москва, Пермский край, Рязанская и Тульская области. И хотя с этими доводами разработчики проекта согласились, над ними подспудно продолжало довлеть представление о том, что стволые субъекты все-таки приоритетнее (еще бы: Волга-то по их территориям течет). В итоге для формирования списка по регионам Волжского бассейна выбрали самые «горячие» точки (почти не заморачиваясь расчетами), и данное множество «просеяли» для приведения общей суммы инвестиций к заданному лимиту, при этом на «переговорно-интуитивном» уровне принимались во внимание соображения о «справедливости» распределения выделяемых финансовых средств между регионами. Те, кто помнит, как процесс народнохозяйственного планирования был организован в СССР, конечно, отметят, что большой разницы не видно, хотя расчетов раньше выполняли заметно больше. При том, что теперь стало больше чиновников, считают меньше – это с нынешней-то цифровизацией! Такой вот парадокс.

Цель проекта – сокращение не менее чем на 80% объемов сброса загрязненных сточных вод «источников, подлежащих очистке». На первый взгляд, 80% – это очень много, почти решает проблему, ведь сбрасываемых ЗВ останется в пять раз меньше, чем теперь, – всего 20%! Но так кажется лишь на первый, поверхностный взгляд. Под «источниками, подлежащими очистке» имеются в виду только точечные (они же контролируемые, регулируемые и т.п.) источники загрязнений, сбросные воды которых поступают в водные

объекты через сточные трубы и другие водоотводные сооружения – как предполагается, именно этот сброс подлежит очистке.

Но от какой базы, как сказали бы специалисты по налогообложению, надо взять внушительные 80%? От общей суммы сброса загрязнённых сточных вод такими источниками. К сожалению, интересующая нас величина неизвестна: учет сброса контролируруемыми источникам ведется исключительно на основе данных, поступающих в статистические органы в формах 2–ТП (водхоз). Их заполняют сами предприятия-загрязнители, и вопрос в том, как именно это делается. Никакого вопроса не было бы, если бы на каждой сточной трубе имелся автоматический (сертифицированный, опломбированный и т.п.) датчик, измеряющий объем сброса и концентрации ЗВ в нем, и именно эти данные заносились бы в форму 2–ТП (водхоз), а еще лучше – непосредственно (дистанционно или, на худой конец, по проводам) передавались в контролирующий орган.

Однако реальность в Волжском бассейне от этой идеальной картинки сегодня так же далека, как 50 лет назад (хотя в развитых странах прошло уже лет 25–30, как картинка материализовалась). Фактически для заполнения формы 2–ТП (водхоз) предприятия берут паспортные данные своего оборудования (там записано, сколько ЗВ будет в сточных водах в штатном режиме в расчете на единицу выпуска продукции при использовании кондиционных сырья, материалов и т.п.) и отчетные данные о выпуске, после чего без всяких датчиков, замеров, проб, анализов и пр., пользуясь только двумя действиями арифметики – умножением и сложением, – находят, сколько сточной воды и с каким количеством различных ЗВ вытекло бы из трубы при условиях... – ну да, тех, что уже описаны выше: 1) оборудование новое, 2) режим штатный, 3) сырье, материалы и т.п. – кондиционные. Результат этих вычислений и записывается в форму 2–ТП (водхоз). И никто (в том числе и Росприродназор) не проверяет, соответствуют ли реальному сбросу записанные данные. Росприродназор в своем нынешнем состоянии не смог бы этого сделать, даже если бы очень захотел: нет инспекторов, нет своего оборудования, нет денег на оплату анализов проб другими организациями и пр. Вот уж, действительно, по М.А. Булгакову: «Чего нихватишься, ничего нет!» А износ основного оборудования – есть и в среднем по народному хозяйству, по экспертным оценкам, превышает 70%, очистного оборудования – еще больше. Где те наивные люди, которые при таком износе надеются работать в штатном режиме, без аварий, получать от поставщиков кондиционное сырье и материалы и т.д., и т.п.?

Так что 80% – это от той арифметики, которая записана в формах 2–ТП (водхоз), а реальный сброс ЗВ, несомненно, существенно больше, и никто не знает, на сколько (в целом). Попытки оценить для отдельных предприятий реальный сброс и сравнить его с декларируемым в форме 2–ТП (водхоз) приводят подчас к устрашающим результатам: разница не

просто кратная, а на порядок! И эти вещества, которые составляют от записанных целых 80%, от реального загрязнения, поступающего из контролируемых источников, составляют куда меньше. Но будем исходить из самых «мягких» оценок. Если допустить, что реальный сброс загрязнений из таких источников превышает скалькулированный для 2–ТП (водхоз) на 25–30% (самые благоприятные из контрольных замеров ориентируют примерно на такую величину), то получается примерно 60% – так можно оценить то сокращение реального сброса загрязнений из контролируемых источников, которое предполагается достичь в результате осуществления проекта.

Но остались еще неточечные источники, диффузный сток, который поступает в водные объекты непосредственно с поверхности, с верховодкой, из подземных источников и мн. др. (и именно этим источникам посвящена настоящая коллективная монография). В половодье разлившаяся река смывает ЗВ, накопившиеся за год, со всей своей поймы, если же вода высокая, то с более обширной территории (о наводнениях и говорить не требуется). Так сколько же ЗВ диффузный сток добавляет к той, что поступает от «источников, подлежащих очистке»?

Источники диффузного загрязнения очень многочисленны и разнообразны. Прежде всего, это сток с сельскохозяйственных полей, с городских территорий, с промплощадок, дорог, далее поступление загрязнений от полигонов с отходами, свалок, всевозможных хвосто-, шламо-, шлако-, золо- и прочих хранилищ, объектов накопленного (прошлого) экологического ущерба, от речного транспорта и объектов его инфраструктуры, рекреации, протечки из дюкеров и пр., наконец, выпадение ЗВ из атмосферы и вторичное загрязнение (т.е. из донных отложений самого водного объекта, десятилетиями аккумулировавших различные антропогенные поллютанты).

В Европе, Северной Америке и Японии считалось, что соотношение между загрязнением из точечных (контролируемых) и неточечных источников составляет примерно 50:50. Это было подтверждено разными исследованиями. В последние 10–15 лет оценки сдвигаются в сторону диффузного загрязнения: все больше различных свидетельств в пользу того, что оно, хотя, как правило, и сокращается, но существенно медленнее, чем контролируемое. Чем мы отличаемся от Запада в этом отношении? Во-первых, в нашем сельском хозяйстве применяется меньше (по оценкам, примерно в 4 раза), чем там, удобрений и наиболее опасных веществ – пестицидов и гербицидов, хотя при этом правила обращения с удобрениями и, особенно, пестицидами, у нас выполняются куда менее строго. Во-вторых, у нас в малых городах и в большинстве средних отсутствует городская ливневая канализация. В таких случаях весь сток с городской территории идет как диффузный. За рубежом такое вообразить невозможно. Например, в Германии в любом поселке с XVI века есть организованная ливневая канализация. В Калининградской области, части бывшей Восточной Пруссии, на

каждом шагу видны следы ливневки, а иногда она даже сохраняет работоспособность до сих пор.

То же самое относится и к промышленным площадкам – это в-третьих. Если вы приезжаете на какое-нибудь предприятие в Европе, вам с гордостью показывают, как устроена ливневая канализация на его территории, как учитывается специфика предприятия в водоочистке. У нас ничего подобного нет. На территории редких предприятий есть самая примитивная ливневка.

В-четвертых, нигде в развитых странах нет несанкционированных свалок и т.п., а полигоны для захоронения (и хранения) отходов, отвалы горных пород (вскрышных и вмещающих), хвосто- и прочие хранилища лучше защищены и более грамотно, чем у нас, эксплуатируются, протечки из дюкеров регистрируются и устраняются за считанные часы (у нас не обнаруживаются годами). Важно и то, что значительная часть промышленных отходов на Западе перерабатывается, т.е. в хранилища направляется относительно малая их часть.

Если подводить итог сравнения с развитыми странами, почти по всем источникам и причинам диффузный сток у нас должен быть больше, причем, как правило, существенно (исключение – объем применения удобрений и пестицидов). «Навскидку» у нас, пожалуй, соотношение между загрязнением из контролируемых источников и диффузным должно быть примерно 40:60, может быть, даже еще больше в пользу второго. Таким образом, если за базу показателя сокращения сброса загрязнения в результате реализации проекта «Оздоровление Волги» принять реальный объем антропогенных загрязнений из источников всех типов, а не официальную величину, рассчитываемую по формам 2–ТП (водхоз), то ожидаемое сокращение составит порядка 35%. (Я обсуждал эту проблематику и приведенную оценку со многими специалистами – научными работниками, сотрудниками территориальных управлений по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, бассейновых водных управлений и др. – никто не дал более мягкую оценку, а те, кто построже, говорили: в лучшем случае 15%. Но, «в рабочем порядке», примем 35%.) А что дальше? Очевидно, что дальше придется заниматься остающимися 65%.

Важно понимать, что 1% из этих 65% в среднем будет стоить намного дороже, чем 1% из первых 35%. Дело в том, что в проект «Оздоровление Волги» включены относительно легко реализуемые мероприятия, с высокой экологической отдачей на рубль инвестиций. Это совершенно правильно, именно с таких мероприятий надо начинать, но каждый следующий шаг дается все с бóльшим трудом и бóльшими затратами. Эта ситуация – падающая эффективность вложений при росте степени очистки или снижении выбросов – вообще характерна для экологии. Например, снизить на 1% затраты топлива и, следовательно, выбросы на теплоэлектростанции с КПД=35% (примерно так в России) гораздо дешевле, чем при КПД=50% (так, например, в Дании).

В паспорте проекта «Оздоровление Волги» отдельным пунктом записано создание Концепции по снижению загрязнения от диффузных источников. Это научная часть проекта, она была рассчитана на два года – 2018-й и 2019-й, ее выполнили ИВП РАН (ответственный исполнитель) и 20 других организаций. От общей суммы затрат на проект для научной части выделено меньше 0,1%. Российская наука занималась диффузным стоком с 1960-х гг., были выполнены интересные, но разрозненные исследования, которые не находили практического выхода. Диффузное загрязнение водных объектов не было даже объектом мониторинга, тем более, регулирования. Такая ситуация сохраняется до сих пор, и неудивительно, что научную часть проекта было решено сосредоточить именно на этой тематике.

Конечно, невнимание к диффузному загрязнению природных вод со стороны государственной власти (как законодательной, так и исполнительной) не случайно и имеет веские причины. Главная из них – исключительная сложность всего, что связано с диффузным загрязнением: его мониторинга, выявления источников, оценки объема и состава, контроля, регулирования, разработки и внедрения мер по сокращению и т.п. Возможности работы с точечными источниками буквально бросаются в глаза, с диффузными – не всегда видны даже после тщательного научного анализа. Прямые измерения загрязнений из точечных источников не проблема, были бы деньги (и в большинстве случаев не чрезмерные, а если и очень дорогие, то такие случаи – например анализ на содержание диоксинов – не специфичны для точечных источников, а в равной мере касаются всех, причем не только для мониторинга качества воды, но и воздуха, и почвы, и биоматериалов). Прямые измерения диффузных загрязнений практически невозможны, здесь дают результат только сложные косвенные методы, оснащенные моделями, ГИСами, компьютерными экспертными системами и т.п.

Точечные источники загрязнения водных объектов доставляют свои неочищенные, недоочищенные и нормативно-очищенные (что далеко не всегда экологически безобидно) стоки непосредственно в водный объект. Сложность работы с источниками диффузного загрязнения обусловлена прежде всего тем, что, в отличие от точечных источников, они (за редкими и относительно малозначимыми исключениями) не имеют прямой связи с водным объектом: необходима природная система – посредник, через которую диффузное загрязнение доставляется от его источника в «объект назначения» – водный объект.

Итоги выполнения научной части федерального приоритетного проекта «Оздоровление Волги» подводятся в данной коллективной монографии. Пилотные объекты, исследованные в рамках НИР, приведены на *рис. 1*. Однако содержание монографии существенно шире, чем тема НИР. Во-первых, все методологические материалы по диффузному загрязнению, выполненные для бассейна Волги, в равной мере относятся

к речным бассейнам, расположенным в лесной, лесостепной и степной зонах, а в значительной степени – и в тундре и лесотундре. Это выход за географические границы исходной темы. Во-вторых, проблематика диффузного загрязнения тесно связана с широким кругом общеэкологических вопросов, для борьбы с диффузным загрязнением необходимо решать задачи сохранения лесных и луговых экосистем, поддержания в приемлемом экологическом состоянии агроценозов и городских растительных сообществ и т.п. Это выход за гидрологические границы в общеэкологическое поле.

Очевидно, что экологические проблемы в России стали волновать население, оно теперь готово активно участвовать в их решении, и это услышано властью как на федеральном, так и региональном уровнях. Природоохранное дело у нас запущено до последней степени, работа по наведению экологического порядка в стране предстоит огромная, требующая постоянного внимания, каждодневных усилий, участия всех, кто хочет жить в России и растить здесь своих детей и внуков. «Оздоровление Волги» – первый, крайне важный шаг в этом направлении, и то, что задуманное в нем не очень-то велико в сравнении с тем, что необходимо сделать для экологического оздоровления страны, ни в коем случае не должно расхолаживать: все великие дела начинаются с малого.

*Научный руководитель темы д.э.н., чл.-корр. РАН
В.И. Данилов-Данильян*

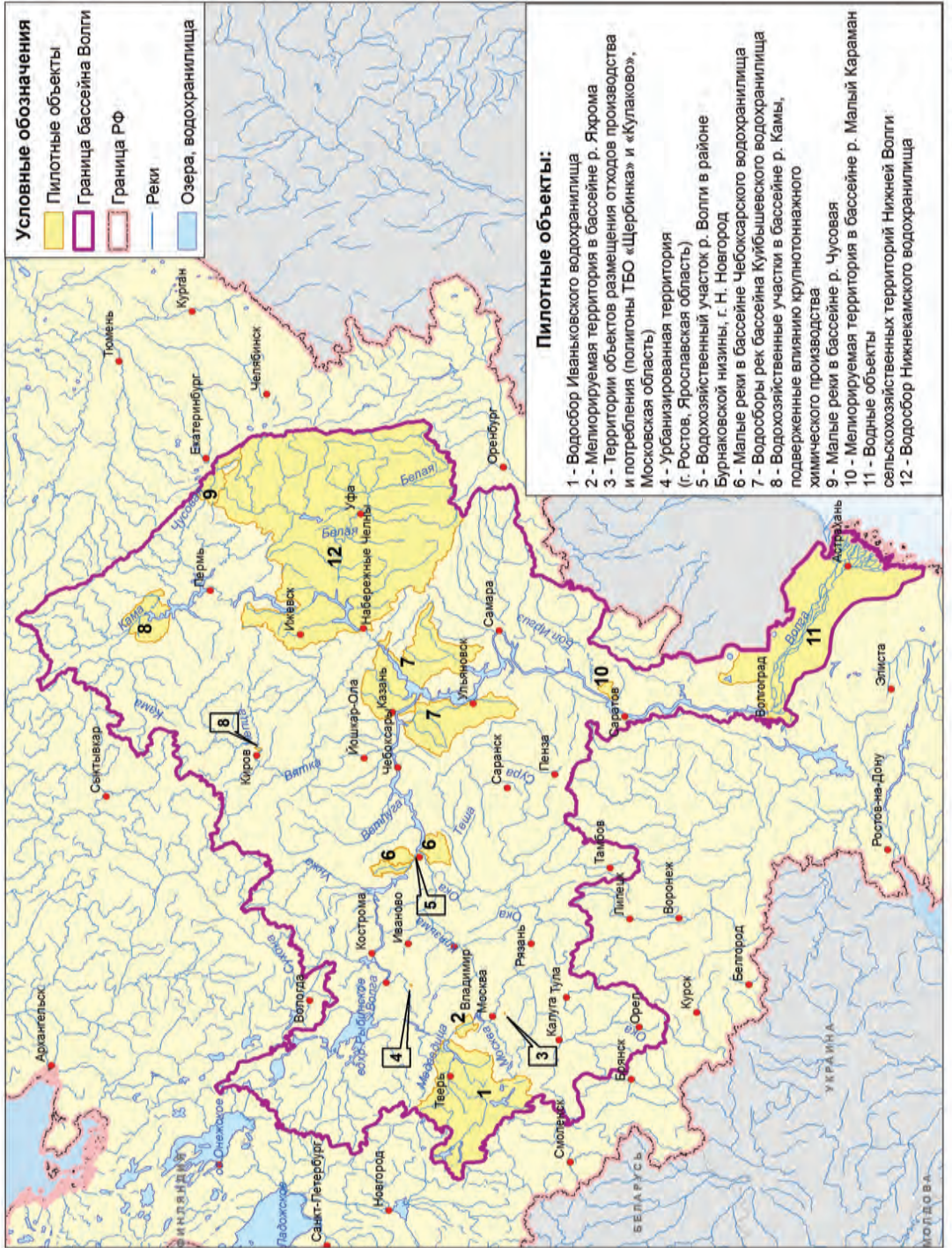


Рис. 1. Бассейн р. Волги и пилотные объекты

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы коллективной монографии считают своим долгом поблагодарить директора Института водных проблем РАН чл.-корр. РАН А.Н. Гельфана, который постоянно участвовал во всех заседаниях авторского коллектива, вникал во все детали работы и неизменно поддерживал исполнителей.

Для руководства работой по научной части проекта «Оздоровление Волги» Федеральное агентство научных организаций (ФАНО) в 2018 г. сформировало Научно-технический совет во главе с сопредседателями зам. руководителя ФАНО А.М. Медведевым и академиком-секретарем Отделения наук о Земле РАН акад. А.О. Глико. На своих 12 заседаниях Совет заслушал отчеты исполнителей по всем этапам работы; повышению ее результативности весьма способствовали обсуждения наших докладов. Благодарим всех членов Совета за конструктивную критику и поддержку.

В выполнении научной части проекта «Оздоровление Волги» принимали участие исследователи, занимавшиеся пилотными водными объектами и другими темами, материалы по которым не вошли в настоящую монографию, но использовались авторами (например в виде карт в главе 4): акад. РАН В.А. Румянцев, д.г.н. Ш.Р. Поздняков (Институт озероведения РАН); акад. РАН Б.М. Кизяев, д.т.н. С.Д. Исаева, А.Л. Бубер, А.А. Бубер (ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова РАН); акад. РАН К.Н. Кулик, д.с.-х.н. А.Т. Барабанова, к.с.-х.н. С.С. Шинкаренко (ФНЦ агроэкологии РАН); к.г.-м.н. Р.В. Вилькович, к.г.-м.н. М.Н. Бучкин (НПП «Георесурс»); чл.-корр. РАН А.Ю. Брюханов (Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства); д.х.н. чл.-корр. АН Республики Татарстан Р.Р. Шагидуллин (ИПЭН АН РТ); к.г.н. Е.А. Минакова (Казанский федеральный университет). Авторы благодарят всех этих участников проекта за продуктивное сотрудничество.

Авторы выражают глубокую благодарность за консультации и помощь при выполнении проекта зав. лабораторией гидрологии Института географии РАН д.г.н., проф. Н.И. Коронкевичу, руководителю Верхне-Волжского бассейнового водного управления А.Н. Баринову, зам. руководителя Верхне-Волжского бассейнового водного управления Л.А. Маховой, начальнику отдела регулирования водопользования Верхне-Волжского бассейнового водного управления Н.В. Мельниковой, зам. руководителя ФГБУ по обеспечению инженерных защит Чебоксарского водохранилища по Нижегородской области Л.И. Терентьевой, руководителю Верхне-Волжского УГМС В.Н. Третьякову, начальнику гидрометцентра Верхне-Волж-

ского УГМС Л.В. Филиной, начальнику ЦМС Верхне-Волжского УГМС Н.В. Андриановой, директору ФГБУ ГЦАС «Тверской» д.с.х-н. С.А. Фирсову, проф. РГСУ д.с.х-н. Е.А. Фирсовой, доценту ТИЭП к.с.х-н. С.С. Фирсову, начальнику Тверского ЦГМС Т.Ю. Зиминной.

ГЛАВА 1

НАУЧНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМЫ ДИФфуЗНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ: ОБЗОР МИРОВОГО ОПЫТА

1.1 ПРИРОДНЫЙ И АНТРОПОГЕННЫЙ МЕХАНИЗМЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДИФфуЗНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

1.1.1 Особенности источников диффузного и сосредоточенного загрязнения природных вод

При всем многообразии источников ухудшения качества природных вод все они с той или иной степенью условности могут быть подразделены на два больших класса: точечные и неточечные. Это разделение основано на принципиально различном характере формирования и поступления загрязнений в водные объекты.

Точечное загрязнение связано с сосредоточенным поступлением загрязненных вод (стоков) и может быть относительно легко идентифицировано и локализовано в пространстве. Классическим примером могут служить выпуски хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод. Нагрузка на водный объект в этом случае может быть достаточно просто оценена напрямую через расход поступления стоков и концентрацию в них ЗВ. Эти две характеристики, как правило, достаточно стабильны во времени и хорошо увязаны с технологическими процессами и объемами водопотребления, необходимыми для данного конкретного производства, а также с принятой схемой и глубиной очистки стоков.

Такой тип источников хорошо поддается внутреннему (ведомственному) и внешнему (со стороны надзорных органов) контролю. В данном случае речь идет не только о контроле качества воды на выходе источника или на отдельных стадиях производства или обработки воды, но и о контроле за ходом самих производственных процессов и их управлением (менеджмент качества).

Вред водным объектам от этого типа источников вполне очевиден и хорошо идентифицируем во всей своей полноте и всем спектре характерных показателей качества воды.

К неточечным следует относить те источники, загрязнение от которых формируется на гораздо большем пространственном масштабе и зависит от степени хозяйственного освоения окружающего природного ландшафта

и экологической культуры ведения хозяйственной деятельности на подведомственной территории (акватории). Другими словами, загрязнение водных объектов носит диффузный (рассредоточенный) характер и связано в основном с загрязнением подстилающей поверхности, состоянием воздушной среды, почв, растительного покрова, типом использования земель и интенсивностью технологического воздействия.

Неточечные источники загрязнения контролировать гораздо сложнее, чем точечные: для них практически не подходит сложившаяся система контроля, в том смысле, в каком она понимается для точечных источников. Более того, не существует и универсальной системы мониторинга за неточечными источниками, поскольку они весьма разнообразны и у каждого из них имеется своя специфика. Их вклад в загрязнение водных объектов может быть на первый взгляд совсем не очевиден и трудно определяем в методическом плане. Концентрации ЗВ, поступающих от неточечных источников, зачастую бывают ниже, чем от точечных, однако вклад первых в загрязнение водных объектов может быть суммарно выше, поскольку они имеют больший территориальный охват. Например, в работе [Михайлов, 2000] отмечается, что загрязнение р. Дунай азотом и фосфором на 60% и 44% от общей нагрузки соответственно обусловлено неточечными источниками. Там же приводится пример крупномасштабного исследования водоемов (озер и водохранилищ) США, качество воды в которых не соответствовало принятым в этой стране нормативам. В результате выяснилось, что в 76% случаев определяющую роль в загрязнении играли неточечные источники. Сходная картина наблюдалась для водотоков: 65% рек и 45% речных устьев с неудовлетворительным качеством воды испытывали основную нагрузку от диффузного загрязнения.

Исследования и работы, выполненные в нашей стране, также свидетельствуют о высокой роли диффузного загрязнения в процессе формирования качества воды в водных объектах. Использование сырья в промышленности, химических соединений в сельском хозяйстве, дорожное строительство и развитие территорий, добыча полезных ископаемых, рекреация – все это трудно контролируемые источники загрязнения водных объектов и их водосборных территорий [Нежиховский, 1990; Кирпичникова, 1991; Selezneva, Seleznev, 1995].

В ряде исследований зарубежных авторов [Novotny, Chesters, 1981; Novotny, 1988] подчеркивается, что диффузное загрязнение возникает из-за неправильного использования земель. Термин «земли» используется в данном контексте в самом широком смысле слова, начиная от личного подсобного хозяйства и садового участка до крупных природных территориальных комплексов в пределах бассейнов рек, озер и водохранилищ.

На *рис. 1.1* [NSW Diffuse Source..., 2009] наглядно проиллюстрированы примеры ведения хозяйственной деятельности на водосборной территории гипотетического водного объекта: как способствующие формированию диффузного загрязнения, так и предотвращающие его появление.

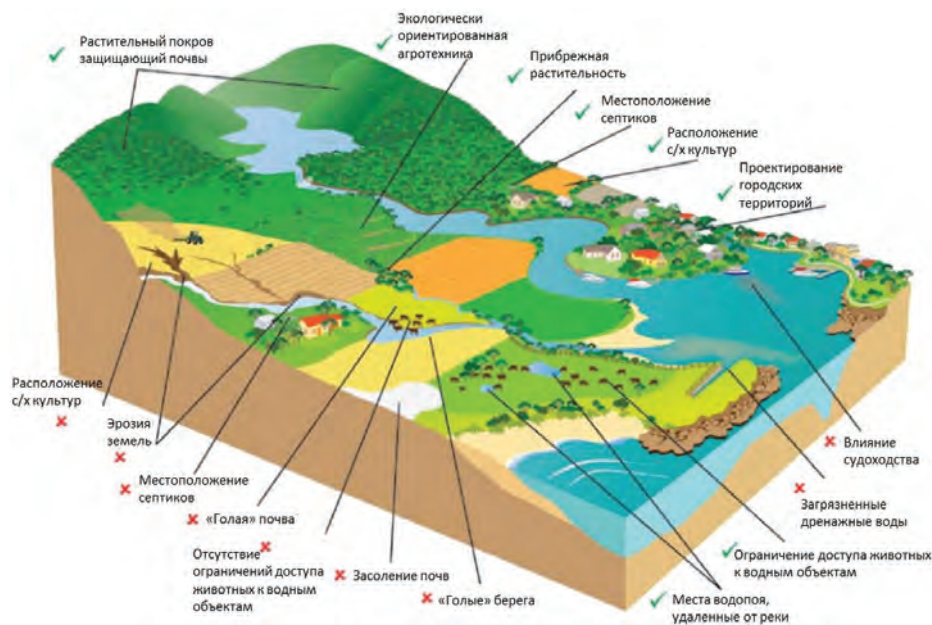


Рис. 1.1. Факторы диффузного загрязнения

Обращает на себя внимание, что в зависимости от типа применяемых практик землепользования, методов ведения хозяйственной деятельности, а также от степени проработки вопросов нормативно-правового и нормативно-технического регулирования, при одном и том же типе освоения земель в одних случаях будет происходить интенсивное загрязнение природных вод, а в других это загрязнение может быть практически полностью исключено или максимально снижено.

Любой водосбор вносит вклад в формирование химического состава водного объекта. Антропогенное нарушение водосбора интенсифицирует потоки ЗВ в результате сведения лесов, смены землепользования, неправильной агротехники ведения сельского хозяйства, осушения и орошения земель, изменения структуры почвенного покрова, эрозионных процессов, увеличения рекреационной нагрузки, использования устаревших технологий производства и многих других факторов. Все это приводит не только к изменению режима и величины стока и зональных особенностей гидрохимического режима водных объектов, но и к резкому снижению самоочищающей способности водосбора.

В настоящей работе объекты хозяйства и территориальные комплексы будут относиться к источникам диффузного загрязнения (ИДЗ) в том случае, если ЗВ от них минуют централизованные очистные сооружения, а также при условии, что такая очистка для них не предусмотрена, не применима или не может их полностью охватить.

Следует также принимать во внимание, что в ряде случаев источники сосредоточенного поступления загрязнений в окружающую среду также вносят вклад и в диффузное загрязнение водных объектов. К таким случаям следует относить те, при которых происходит опосредованное загрязнение водных объектов. Например, выбросы в атмосферу промышленных предприятий распространяются с воздушными потоками и служат источниками загрязнений жидких атмосферных осадков, снежного покрова и почв, охватывая большие территории, с которых впоследствии путем поверхностного и грунтового стока происходит загрязнение водных объектов, которое будет носить диффузный характер.

Диффузное загрязнение как процесс характеризуется прерывистым поступлением ЗВ и зависимостью формирования и дальнейшего распространения от общих физико-географических условий и погодных явлений. Элементы природной среды (воздушные массы, почвы, растительность, рельеф, донные отложения водохранилищ, грунтовые воды) часто выступают в качестве первичного перехватывающего звена между источником поступления загрязнений и поверхностными водными объектами. В данных звеньях загрязнения могут накапливаться и частично трансформироваться в течение какого-то времени, не оказывая заметного влияния на качество воды. Однако при исчерпании емкости накопления и способности к трансформации (самоочищению), а также иных неблагоприятных обстоятельствах начинает происходить интенсивная отдача ЗВ в расположенный поблизости водный объект. При этом, по крайней мере на первых порах, будет уже не так важно, продолжается поступление загрязнений в перехватывающие элементы среды или нет. Характерными являются те случаи, когда источником загрязнения выступают донные отложения водохранилищ. Их влияние в первое время может даже усиливаться при снижении нагрузки на водосбор, поскольку это увеличивает градиент концентраций ЗВ на границе вода-донные отложения, ускоряя тем самым поступление загрязнений в воду. Как отмечено в работе [Даценко, 2007], такое свойство эвтрофных водоемов может снижать эффективность водоохраных мероприятий на водосборе до тех пор, пока не исчерпается весь запас ЗВ в донных отложениях. Там же в качестве примеров со ссылкой на работы [Moss et al., 1996; Mardsen, 1989] приводятся озеро Бартон Брод в Англии и ряд озер в Дании, в которых, несмотря на многократное снижение концентрации фосфора после осуществления интенсивной программы очистки сточных вод в их бассейне, цветение воды оставалось на том же уровне на протяжении более десятка лет последующих наблюдений.

Загрязненные почвы и грунтовые воды ведут себя таким же образом. Почвы представляют собой пористые среды с высокой сорбционной емкостью, а также являются основным ресурсом для сельскохозяйственного производства. Последние исследования, выполненные в бассейне р. Камы (главный левый приток Волги), показывают значительный потенциал почв в бассейне этой реки и ее притоков к загрязнению природных вод медью, накопившей-

ся в них за несколько столетий в результате развития горнорудной промышленности региона [Мотовилов, Фащевская, 2018].

Грунтовые воды характеризуются гораздо более замедленным водообменом и являются основой хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения. И те, и другие напрямую подвержены влиянию ИДЗ и сами могут служить такими источниками долгие годы из-за очень ограниченных возможностей их эффективного восстановления. Эффект их загрязнения сказывается в пределах целых речных бассейнов и водоносных горизонтов и может распространяться за пределы не только административных, но и государственных границ.

Во многих случаях определяющим фактором диффузного загрязнения являются весеннее половодье, характерное для Европейской части России, а также дождевые или снегодождевые паводки, в результате которых происходит формирование загрязненного поверхностного стока с обширной территории и, что немаловажно, за относительно короткий период времени. В данном случае период накопления загрязнений на поверхности водосбора бывает существенно более длительным, чем период их поступления в гидрографическую сеть. Таким образом, характерной особенностью ИДЗ характерна «залповость» отдачи и значительная изменчивость потоков загрязнений от места к месту и от года к году. Кроме того, величина потоков от одного и того же источника в разное время может меняться на несколько порядков в зависимости от интенсивности снеготаяния или отдельно взятого дождя. Так, если выпадению осадков предшествовал длительный маловодный период, то содержание ЗВ в дождевом стоке многократно возрастает и, при прочих равных условиях, будет выше, чем для такого же периода с более равномерным по времени распределением влаги. Так же различия могут наблюдаться и внутри дождевого паводка: в начальной стадии при небольшой интенсивности осадков будет происходить лишь увлажнение территории и небольшой поверхностный смыв, а на пике паводка может активизироваться почвенная эрозия, размыв дорог и переполнение ливневой канализации. Ясно, что влияние на водную среду в этих случаях будет различным.

Формирование диффузного загрязнения может происходить не только за счет смыва ЗВ с подстилающей поверхности, но и за счет поступления из атмосферы и переноса с воздушными потоками, например, кислотное загрязнение водоемов, или в результате фильтрации атмосферной влаги через загрязненные почвогрунты, в том числе зоны аномального техногенного загрязнения почв, которые систематически «питают» водные объекты опасными веществами. Источниками могут также служить подземные линзы жидких отходов, содержащих, например, горюче-смазочные материалы и нефтепродукты, шламонакопители, места захоронений твердых отходов, гидроизоляция которых нарушена.

Контроль за поступлением ЗВ от неточечных источников загрязнения в месте их образования, как правило, намного более сложен в техническом,

организационном плане или более дорогостоящ, чем от точечных источников. В некоторых экстремальных случаях ошибки в природопользовании приводят к изменению гидрологического и гидрохимического режима отдельных регионов, вызывая засухи, загрязнение грунтовых вод, потерю плодородного слоя почвы, и ограничивают перспективы использования водных ресурсов рек и водохранилищ.

Снижение поступления загрязнений может быть достигнуто в основном за счет внедрения эффективных методов управления и новых практик хозяйственной деятельности в пределах водосборной территории и изменения условий формирования поверхностного или грунтового стока. Это одно из основных отличий от точечных источников, где снижение загрязнения достигается за счет непосредственной обработки (очистки) сточных вод, запрета на сброс, штрафа и проч. Повсеместность распространения диффузного загрязнения и многообразие его источников приводят к тому, что существующие методы управления фрагментированы и трудно согласуемы между собой. Более того, территории, где, как правило, формируются эти источники, находятся под юрисдикцией местных органов власти, у которых зачастую не достает действенных рычагов влияния. Контроль диффузного загрязнения может потребовать вместо этого принятия всеобъемлющей и скоординированной стратегии планирования землепользования для целых речных бассейнов.

С этой точки зрения источники загрязнения могут быть классифицированы также следующим образом:

1. Контролируемые источники, т.е. те, что находятся под государственным контролем, характеризуются относительной стационарностью сброса ЗВ, сосредоточенным характером выпуска.

2. Неконтролируемые источники, которые находятся вне поля зрения государственных органов, характеризуются нестационарностью расходов и режима поступления ЗВ. Они характеризуются в основном рассредоточенным (диффузным) характером поступления в водные объекты. К ним относятся все те источники, к которым неприменима традиционная система мониторинга и которые расположены на водосборной территории водных объектов, в том числе образующиеся на этой территории, а также на акватории или в глубине водного объекта в результате аварийных выбросов, аварий, разливов или утечек либо естественных процессов.

1.1.2 Типизация источников диффузного загрязнения

Приведенные ниже подходы к типизации имеют целью более полно раскрыть характер диффузного загрязнения водных объектов, дают возможность с разных углов зрения посмотреть на одну и ту же проблему и, в конечном итоге, способствуют более обоснованному и менее трудозатратному процессу принятия решений в данной области.

1. По пространственной локализации и характеру формирования загрязнений можно выделить два условных типа: линейные и площадные.

Характерными примерами линейных источников являются автомагистрали и трубопроводы, потенциальная опасность поступления загрязнений от которых существует на всем их протяжении, а наибольшая вероятность загрязнения воды возникает в местах пересечения с водными объектами.

К площадным источникам следует относить, например, территории городской и сельской застройки, селитебные земли, пашни, пастбища и др.

2. По способу (пути) поступления ЗВ в водные объекты выделяются диффузные источники, загрязнения от которых поступают:

а) со склоновым стоком (включая внутрпочвенный и почвенно-грунтовый) с водосбора. К основным видам хозяйственной деятельности, приводящим к трансформации химического состава склонового стока, относят: сельское хозяйство (растениеводство, животноводство); очистку коммунальных сточных вод на сельскохозяйственных полях орошения; горнодобывающую деятельность; деятельность, связанную со значительным выбросом ЗВ в атмосферу (металлургическое и химическое производство, производство энергии на тепловых электрических станциях и ряд других производств); транспортное использование территорий (автомобильный, железнодорожный и трубопроводный транспорт);

б) при разгрузке загрязненных в процессе антропогенной деятельности подземных вод. Загрязнение подземных вод наблюдается в местах расположения бывших рудников при их мокрой консервации, недействующих шахт, в местах так называемого накопленного (прошлого) экологического ущерба, крупных аварий на химических производствах и предприятиях нефтепереработки. Загрязнение токсичными химическими веществами может происходить вне предела водосбора рассматриваемого водного объекта при наличии гидравлической связи между бассейнами подземных вод;

в) на водную поверхность в процессе сухих выпадений из атмосферы, а также при выпадении атмосферных осадков, содержащих ЗВ. Данный тип выпадений зависит от направления атмосферного переноса и близости расположения к водному объекту крупных промышленных предприятий, ТЭС, аэропортов и др.;

г) в процессе непосредственного контакта с водой (антропогенная деятельность в водном объекте и на пойме, рекреационное использование водного объекта). К этой группе относятся использование поверхностных водных объектов для навигации и стоянки судов, эксплуатации гидротехнических сооружений, сплава древесины, эксплуатации и содержанию водных путей, выполнения работ в акватории речного порта и при добыче нерудных материалов, строительства мостов и прокладке трубопроводов, целей рекреации.

3. По возможности нейтрализации негативного воздействия:

а) источники диффузного загрязнения, для ликвидации которых имеются технические и/или организационные возможности либо образование которых можно предотвратить. В эту группу входят, прежде всего:

- свалки (санкционированные и несанкционированные),
- полигоны твердых бытовых отходов;

б) источники диффузного загрязнения, загрязненный сток от которых может быть локализован и очищен. Причины того, что мероприятия по локализации диффузного загрязнения от потенциально пригодных к этому источников и последующей очистке стоков не проводятся, носят, как правило, либо организационный (включая отсутствие законодательной базы), либо экономический (отсутствие достаточных средств и стимулов у субъектов РФ и у муниципалитетов) характер. Примерами источников диффузного загрязнения, входящими в данную группу, являются:

- селитебные и урбанизированные территории,
- животноводческие, птицеводческие фермы и площадки складирования навоза,
- территории промышленных предприятий, нефтезаправочных станций и стоянки транспортных средств;

в) источники диффузного загрязнения, поступление ЗВ от которых не может быть полностью локализовано, но существуют мероприятия, которые позволяют снизить негативное влияние на водные объекты.

К этой категории относятся большие площадные и линейные источники:

- сельскохозяйственные угодья: богарные, осушаемые и орошаемые земли;
- территории и акватории больших портов;
- крупные промышленные зоны и места добычи полезных ископаемых;
- зоны рекреации;
- площадки строительства, затрагивающие акваторию (мосты, переходы и проч.), модификация речных русел;
- автомобильные и железные дороги.

4. Специфика диффузного загрязнения и набор действующих факторов должны определяться на основе типизации источников загрязнения *по видам хозяйственной деятельности*. Такая типизация является наиболее естественной и практически значимой с точки зрения выделения источников загрязнения, а также наблюдения и контроля за потоками ЗВ.

Ниже перечислены основные по своему вкладу в диффузное загрязнение вод виды хозяйственной деятельности (наиболее существенные и характерные, но не все) с указанием инициируемых ими процессов и явлений.

Сельское хозяйство (земледелие, животноводство, переработка с/х продукции):

- эрозия пахотных земель;
- грунтовые воды, с растворенными удобрениями и пестицидами;
- орошаемые и осушаемые угодья;
- навозохранилища и буртовые площадки;
- места выгула животных и складирования отходов переработки;
- рыбопродукционные пруды.

Городское хозяйство (урбанизированные территории, включая города, поселки, пригородные зоны и селитебные земли):

- поверхностный сток с застроенных территорий;
- загрязненные грунтовые воды жилой застройки и полигонов ТБО;
- поверхностный сток с вновь осваиваемых территорий при строительстве, прокладке коммуникаций и проч.

Транспорт (включая судоходство и трубопроводы):

- поверхностный сток с автомагистралей;
- выхлопные газы и продукты истирания дорог и механических частей;
- места аварийных ситуаций;
- несанкционированный сброс подсланевых вод, утечки ГСМ с судов;
- поверхностный сток с аэродромов, портов, стоянок автотехники.

Промышленное производство и добыча природных ресурсов и энергетика:

- загрязненные атмосферные осадки и грунтовые воды;
- отвалы горных пород и промышленных отходов;
- поверхностный сток с промышленных площадок;
- хранилища жидких и твердых производственных отходов;
- территории лесозаготовительных предприятий;
- шахтные и карьерные воды;
- места добычи нерудных материалов на ложе водного объекта.

Рекреационное водопользование:

- места организации несанкционированных свалок, кострищ, туалетов, мойки автомобилей;
- места любительского рыболовства;
- использование маломерного флота и водный туризм;
- стоянки автотранспорта на берегу и акватории водного объекта (в т.ч. на льду).

Переработка берегов, строительные и дночерпательные работы:

- места стоянки автоспецтехники, склады строительных материалов, ГСМ;
- участки русла и берега при строительстве мостов, переходов, прокладке трубопроводов;
- берега, подверженные эрозии;
- участки акватории в местах производства дноуглубительных работ, донные отложения.

1.1.3 Факторы диффузного загрязнения по видам хозяйственной деятельности

1.1.3.1 Сельское хозяйство

Пути поступления загрязнений в водные объекты и источники таких загрязнений при сельскохозяйственной деятельности весьма разнообразны. Агропромышленный комплекс (АПК) в этом отношении является своеобразным конгломератом точечных и неточечных источников, которые во многих отношениях трудно поддаются контролю, даже в условиях ведения вполне контролируемой деятельности. Точечные источники загрязнения в АПК образуются преимущественно на объектах коммунального хозяйства сельских поселений, животноводческих и птицеводческих комплексах, в тепличных хозяйствах, производственной структуре сельскохозяйственного производства, на осушительных и оросительных системах. Неточечные источники формируются за счет поверхностного стока с сельскохозяйственных полей, включая орошаемые и осушаемые земли, территорий животноводческих комплексов и сельских поселений. Под неконтролируемыми точечными источниками загрязнения водных объектов сельским хозяйством понимаются такие сельскохозяйственные объекты, на которых предусмотрены технические решения по отводу и очистке сточных вод, но ввиду разных причин объемы стоков и их загрязнение не контролируются и в водные объекты поступают стоки ненадлежащего качества. К ним принято относить:

- хозяйственно-бытовые воды сельских поселений с населением менее 5 тыс. человек и фермерских хозяйств согласно [ВНТП–К–97, 1997; СП 42.13330.2011, 2011];
- малые животноводческие фермы с количеством голов, не превышающих 3 тыс., и птицеводческие фабрики (количество кур-несушек менее 50 шт., цыплят-бройлеров менее 300 шт.);
- сельскохозяйственные предприятия, осуществляющие мойку овощной продукции и картофеля;
- сельскохозяйственные предприятия, имеющие ненадлежащие очистные сооружения;
- малые тепличные комплексы, площадью менее 1 га;
- дренажные и дренажно-сбросные воды с орошаемых и осушаемых территорий.

В качестве неточечных источников загрязнения рассматриваются сельскохозяйственные угодья, территории сельских поселений, животноводческих ферм, сельскохозяйственных производственных предприятий, земли фермерских и дачных кооперативов, на которых технические решения по контролю качества вообще не предусмотрены или не отвечают установленным требованиям.



Рис. 1.2. Примеры неправильной агротехнологии утилизации отходов в сельском хозяйстве

Такая классификация является весьма условной, поскольку те же самые животноводческие и птицеводческие стоки могут утилизироваться по-разному. Так, при жидком способе удаления органики с последующим внесением ее на поля под заашку, т.е. распределением по поверхности водосбора, образующийся загрязненный поверхностный сток будет относиться уже к диффузному загрязнению. Ситуация существенно усугубляется в тех случаях, когда проведение заашки по каким-либо причинам не проводится или ее не успевают провести до очередного дождевого паводка. Кроме того, те же дренажные воды, хотя и поступают в водный объект в виде сосредоточенного потока, могут нести в себе загрязнения, формирующиеся на обширной территории, не подвергаются какой-либо очистке и, таким образом, несут в себе все признаки неточечных источников загрязнения.

Животноводческие и птицеводческие стоки, пожалуй, являются наиболее опасными из-за высокого содержания в них азота, фосфора, серы и патогенных микроорганизмов, что приводит к биологическому загрязнению и эвтрофированию водоемов, а также резкому ухудшению их общего санитарного состояния. Например, для крупных животноводческих хозяйств объем жидких стоков, подлежащих утилизации, может достигать до 1500 м³ в сутки.

Кроме того, зачастую на территории ферм и птицефабрик навоз и помет складываются без надлежащего контроля и, как правило, открытым способом, что приводит к попаданию стоков с таких территорий непосредственно на рельеф местности и далее в близлежащий водный объект (рис. 1.2).

Некоторые предприятия по переработке сельскохозяйственной продукции допускают складирование отходов на своей территории. Например, одним из основных проблемных отходов сахарных заводов является свекловичный жом – выщелоченная свекловичная стружка, в состав которой входят пектиновые вещества, клетчатка, гемицеллюлоза, имеется также небольшое количество белка, минеральных веществ и сахара [Электронный ресурс НАУКАРУС, 2018]. С наступлением весны многотоннажные отходы (на среднем сахарном заводе скапливается 150–200 тыс. т жома на террито-

рии площадью в несколько гектар) через 3–4 недели подвергаются масляно-кислому брожению, распространяя потоки масляной кислоты, поступающие в водоемы, и вызывая токсический эффект.

Сельскохозяйственное производство сопровождается выпасом скота и распашкой больших площадей земли, что приводит к деградации естественного растительного покрова, нарушению структуры и обнажению почв, делая их подверженными водной и ветровой эрозии. Сток воды с таких территорий, как правило, увеличивается, а вместе с ним происходит вынос в близлежащие водные объекты почвенных частиц, а также удобрений и пестицидов. Немаловажную роль играет возвратное поступление воды от систем орошения и мелиорируемых земель. Особую опасность представляют поверхностные стоки с животноводческих ферм, птицефабрик, территорий фермерских и садоводческих хозяйств. Как правило, объемы и качество стоков не контролируются, никакой очистке стоки не подвергаются и сбрасываются непосредственно в водные объекты. В стоках могут обнаруживаться взвешенные и органические вещества, биогенные элементы, химические вещества различного происхождения, отходы нефтепродуктов и тяжелые металлы, а также твердый мусор.

Воздействие сельского хозяйства на природную среду, а через нее и на водные объекты, осуществляется через многообразные производственные процессы, каждый из которых имеет свою специфику и тесно связан с местными и региональными особенностями земледелия и животноводства – агротехникой возделывания сельскохозяйственных культур, способами содержания скота и т. д. Вклад сельского хозяйства в диффузное загрязнение следует рассматривать в двух временных аспектах: 1) интегрированный во времени, долговременный, в результате которого возникли «накопленные» изменения, и 2) «сиюминутный», текущий, определяемый применением в конкретный период агротехнических мероприятий: машинной обработкой пашни, внесением агрохимикатов, дождеванием и т. д. К «накопленным» изменениям относятся эрозия почв, снижение их плодородия в связи с выносом из них гумусовых веществ, что, в свою очередь, требует повышенного внесения органо-минеральных удобрений и ведет к очередному витку нагрузки на водные объекты и их водосборы, дигрессия пастбищ при перевыпасе, засоление земель и т. п. [Национальный атлас..., 2018].

В районах с развитым земледелием и обработкой земли и даже в некоторых государствах, таких, как США и Австралия, сельское хозяйство по праву считается чуть ли не основным источником диффузного загрязнения природных вод.

В 2013 г. на международном агроэкологическом форуме в г. Санкт-Петербурге было отмечено, что более 60% поступления фосфора и более 70% поступления азота в Балтийское море связано с сельскохозяйственной деятельностью (*рис. 1.3*) [Международный..., 2013].

По данным министерства сельского хозяйства РФ и статистической отчетности [О ходе подготовки..., 2018; Российский..., 2017], в 2017–18 гг.

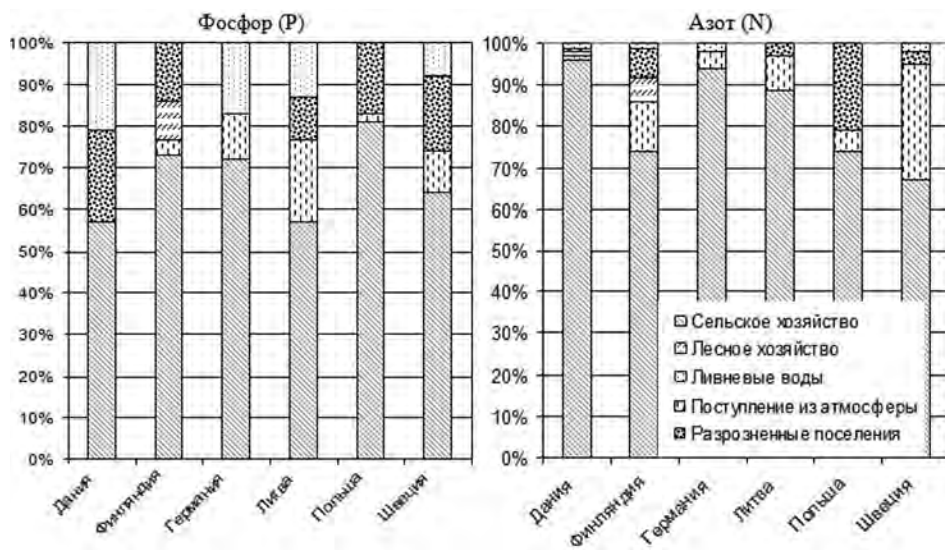


Рис. 1.3. Роль сельского хозяйства в формировании диффузной нагрузки в некоторых странах Балтийского региона

фактическая посевная площадь в стране составляет около 80 млн га, на которые ежегодно вносится более 3 млн т в действующем веществе минеральных удобрений. Общий объем органических удобрений в последние годы составляет более 65 млн т. Объем внесенных гипса, фосфогипса, других пород, содержащих гипс, а также известняковой и фосфоритной муки составляет около 2 млн т.

Хотя приведенные цифры и характеризуют дополнительную нагрузку на природную среду, по сути, чуждыми ей веществами, следует учитывать, что улучшение плодородия земель путем внесения агрохимикатов само по себе не является неременным условием загрязнения водного объекта. Большое значение имеет способ, количество и время внесения удобрений, уровень технической оснащенности и мониторинга производственных процессов, наличие административных, экономических и других барьеров, а также общая экологическая культура ведения хозяйственной деятельности.

В поверхностные воды с сельскохозяйственных территорий поступает в основном два преобладающих (по объему нагрузки) вида загрязнений – взвешенные вещества и биогенные элементы (азот, фосфор и др.). Подземные воды подвержены, прежде всего, загрязнению пестицидами – стойкими токсичными химическими веществами, которые применяются на сельскохозяйственных площадях для борьбы с сорняками и вредителями. Такое загрязнение представляет собой чрезвычайно острую экологическую проблему, поскольку подземные (в том числе грунтовые воды) широко используются для водоснабжения населенных пунктов [Михайлов, 2000].

В целом, исследованиями установлено [Комплексное..., 1985], что из общего количества внесенных на поля удобрений в водные объекты попадает до 20 % азота, до 2,5 % фосфора и до 30 % калия. В среднем с одного гектара пашни может выноситься в год до 80 кг нитратного азота, 3 кг фосфора и 60 кг калия, в зависимости от типа почв, количества и характера выпадающих осадков, вида растений и дозы удобрений [Особенности гидрохимического режима..., 1985].

Экспериментальными наблюдениями в Тверской области – в верховьях р. Волги [Кузнецов и др., 1981] выявлена прямая зависимость между слоем стока воды (мм) в течение периода наблюдений и массой биогенных элементов (кг), выносимых в водные объекты с единицы площади (га) сельскохозяйственных угодий. Так, на хорошо удобренном поле при слое стока 70, 80 и 130 мм вынос фосфора составил 0,25, 0,5 и 0,9 кг/га соответственно. Показано также, что в среднем вынос азота на порядок и более выше, чем фосфора. Среднее за пять лет наблюдений соотношение азота и фосфора для различных агрофонов неодинаково, на озимых оно составило 10:1, а на зяби – 27:1. Кроме того, установлено, что для разных типов агрофона объем выноса фосфора неодинаков: при слое стока 100 мм вынос растворенного азота с трав составил за период наблюдений около 1,5 кг/га, с озимых – 4,5 кг/га и с зяби – 9 кг/га.

Вынос ЗВ может происходить не только в растворенном виде, но и в сорбированном виде вместе с вымываемыми с водосбора почвенными частицами. Объем загрязнений и в этом случае будет пропорционален величине смыва. Например, в описанном выше эксперименте наибольший вынос фосфора со смывтой почвой наблюдался на зяби – 4,8 кг Р/га, на озимых он не превышал 1,3 кг Р/га, а на травах был наименьшим – 0,14 кг Р/га.

Определенную роль играют также экспозиция, уклон и протяженность склонов. Очевидно, что действие этих факторов будет наиболее значительно проявляться на локальных участках и, прежде всего, для малых рек, ручьев, водосборов небольших озер и прудов местного значения. Для крупных водосборов их проявление будет сглаживаться. В некоторых работах [Чуян, Пыхтин, 1978] этим факторам отводится второстепенная роль по сравнению с типом агрофона, состоянием почв и увлажненностью территорий. Существенное влияние оказывают также количество, время и способ внесения удобрений [Беличенко, Швецов, 1986]. Авторы отмечают, что многие азотные соединения (особенно нитратная форма азота), внесенные в почву, обладают высокой подвижностью и поэтому активно вымываются из верхних почвенных горизонтов с талыми и дождевыми водами. То же относится и к калию, входящему в состав минеральных удобрений. Этот элемент вымывается из пахотного слоя, особенно интенсивно на легких почвах. Фосфор обладает меньшей подвижностью и лучше связывается с почвой, его вынос в водные объекты осуществляется в основном благодаря почвенной эрозии. Поэтому с полей под озимыми культурами фосфора выносится меньше, чем с зяби, а с полей, занятых травами, меньше, чем с озимых.

Интересные балансовые оценки получены лизиметрическими исследованиями (от греч. «*lisis*» – растворение) на дерново-подзолистых почвах с применением стабильного изотопа азота ^{15}N . Наблюдения над динамикой влажности в почвенном профиле и инфильтрацией атмосферных осадков для определения состава фильтрующихся вод широко применяют в агрохимии для мониторинговых исследований (оценка явлений переноса веществ, в том числе и загрязняющих) в различных природных ситуациях, в лабораторных экспериментах для изучения явлений переноса веществ (метод почвенных колонн и монолитов), в естественных условиях для исследования эволюции почв, почвенных процессов «*in situ*». Подход позволяет изучать динамику вымывания минеральных солей из почвы, включая компоненты минеральных удобрений [Лизиметрический метод..., 2013]. В указанном эксперименте из внесенного удобрения растениями было использовано только от 30 до 60 % азота, 15–30 % аккумуляровалось в почве, 10–30 % отнесено на счет улетучивания газообразных соединений и 1–5 % было вымыто с лизиметрическими водами.

Следующая серия детальных экспериментов проводилась в полевом севообороте на серой лесной почве, особое внимание уделялось миграции азота как одной из составляющих его баланса в условиях пятилетнего внесения 60, 120, 180 кг/га [Никитишен и др., 1979]. Из анализа баланса азота в почве за пятилетний период следует вывод, что вымывание нитратов является существенной статьей потерь лишь в случае применения тройной и в меньшей мере – двойной доз азотного удобрения. Из 300, 600 и 900 кг/га, внесенных в почву, растениями усваивалось 166, 257 и 296 кг/га, или 55, 43 и 33 %. В пахотном слое почвы преимущественно в органической форме закреплялось 120, 192 и 264 кг/га азота (соответственно – 40, 32 и 29 %), а нитратная форма азота в количестве 12, 112 и 278 кг/га передвигалась ниже 20 см на глубину 100, 200 и 300 см, попадая тем самым в грунтовые воды. От внесенного в почву количества азота это составляло 4, 19 и 30 %. На долю азота, вымывшегося на глубину 100–300 см, приходилось 0,37 и 130 кг/га, а неучтенные потери составляли 2, 39 и 62 кг/га. Из проведенных исследований был сделан важный вывод, что в условиях Нечерноземной зоны с целью снижения нагрузки на окружающую среду не следует ежегодно применять свыше 120 кг/га азота.

Чрезмерная эксплуатация пастбищ (перевыпас скота), ведущая к деградации растительного покрова и нарушению почвенного покрова, вспашка полей до уреза воды, неправильное направление распашки склонов, отсутствие буферных зон (полос) с нетронутым травостоем, недостаточно продуманные в целом способы организации агроландшафтов, структура посевов, виды севооборотов и их размещение по рельефу местности – все эти антропогенные факторы наряду с физико-географическими особенностями территории определяют развитие такого негативного явления, как *эрозия*.

Принято различать два основных вида эрозии: ветровую и водную. Ветровая эрозия развивается при скорости ветра более 15 м/с преимущественно весной, когда еще не появилась растительность, в результате чего обра-



Рис. 1.4. Развитие водной линейной эрозии на склоновых сельскохозяйственных угодьях

зуются пыльные бури, охватывающие порой огромные пространства. Водная эрозия подразделяется на плоскостную и линейную. Первая связана со смывом частиц почвы, вторая с глубоким размывом почвенного покрова. Наибольшую опасность представляет линейная эрозия, которая начинается с формирования отдельных борозд, рытвин, промоин и завершается возникновением оврагов и балок.

Водно-эрозионные процессы начинаются при уклонах в 3° и усиливаются при уклонах $5-6^\circ$. Легкий смыв почвенных частиц наблюдается уже при уклонах 1° . При уклоне 2° и выше проявляется линейная эрозия, и в паровом поле происходит смыв почвы от 0,5 до 10 кг/га (рис. 1.4).

Общая доля эродированных, дефлированных (подверженных ветровой эрозии) и опасных с этой точки зрения сельскохозяйственных угодий России превышает 50% и продолжает неуклонно увеличиваться. Практически во всех регионах России наблюдается снижение содержания гумуса и элементов питания в почвах сельскохозяйственных угодий. Увеличиваются территории, подверженные процессам опустынивания (характерно для Нижней Волги) и деградации почв.

Более трети почв сельскохозяйственных угодий страны подвержены таким негативным процессам, как засоление, загрязнение и захламление промышленными и бытовыми отходами. Процессы деградации особенно сильно охватили высокоплодородные в прошлом черноземы России, которые составляют более 40% всей площади пахотных угодий страны.

В России водная и ветровая эрозия наряду с такими явлениями, как переувлажнение и заболачивание, потопление, засоление и осолонцевание, опустынивание, относится к основным негативными процессам, приводящим к деградации земель, почвенного и растительного покрова [Государственный доклад..., 2017б].

По данным Российского НИИ проблем мелиорации, в целом по стране в составе эродированных сельскохозяйственных угодий средне- и сильноэродированные земли занимают около 26 %, из них пашни – 14,9 %, сенокосы – 1,2 и пастбища – 9,3 %. Доля эродированных и дефлированных земель продолжает неуклонно увеличиваться. В течение последних 20 лет темпы прироста этих земель достигают до 1,5 млн га в год.

По разным оценкам, почвы сельскохозяйственных угодий России ежегодно теряют около 1,5 млрд т плодородного слоя вследствие проявления эрозии, что равносильно потере 18–20 млн т питательных веществ, так или иначе поступающих в водные объекты. Помимо прямого загрязнения рек и водохранилищ, в результате эрозии недобирается пятая часть продукции растениеводства. На землях, подвергшихся эрозионным процессам, теряется в среднем 15% урожая зернобобовых культур, 32% – пшеницы, 45% – картофеля, 25% – кормовых трав [Методические указания..., 2015].

По оценкам Продовольственной и сельскохозяйственной организации объединенных наций:

- эквивалент одного футбольного поля почвы эродируется каждые 5 секунд;
- уровень ускоренной эрозии почв на землях под пашней и интенсивным выпасом скота оценивается в 100–1000 раз выше, чем естественный уровень эрозии [FAO, 2019].

Взвешенные вещества, поступающие с поверхностным стоком с сельскохозяйственных полей в результате водной эрозии в водные источники, значительно снижают прозрачность воды, что ухудшает фотосинтезирующую деятельность фитопланктона, а значит, уменьшается содержание растворенного кислорода. Может происходить забивание жабр и фильтровальных аппаратов у гидробионтов, а также заиление нерестилищ.

Использование *пестицидов* для борьбы с вредителями и сорняками также вносит определенный вклад в загрязнение водных объектов путем их выноса с поверхности обработанных полей в результате выпадения осадков или с водами от орошения. Физические и химические свойства этих специфических веществ влияют на их поведение и транспорт. Одни пестициды переносятся в основном в сорбированном на почвенных частицах виде, другие сорбируются хуже и выносятся с полей преимущественно в растворенном состоянии. При интенсивном земледелии, особенно в условиях монокультуры, приходится использовать большие количества химических средств защиты растений, в чис-

ло которых входят и соединения тяжелых металлов. Например, протравливание зерна перед посевом производится ртутьсодержащими фунгицидами; в состав фунгицидов входит также медь в форме хорошо растворимого сульфата (купросил, купроксат, бордосская жидкость и др.). Известно, что в определенных концентрациях они не только влияют на качество пресных вод, но и становятся токсичными для гидробионтов и аккумулируются в их тканях. По трофическим цепям металлы могут попадать в организм человека.

Общие потери пестицидов в полевых условиях могут составлять от менее 1% до 10% внесенных ядохимикатов [Wauchore, 1978; Baker, 1983]. В наибольшей степени эти потери происходят в период выпадения ливневых осадков, когда такие осадки выпадают сразу после распыления пестицидов. Концентрация пестицидов в поверхностном стоке может варьировать от менее 1 мкг/л до 1 мг/л и более.

Основным источником поступления пестицидов в водные объекты является поверхностный сток талых, дождевых и грунтовых вод с сельскохозяйственных угодий, коллекторно-дренажные воды, сбрасываемые с орошаемых территорий. Пестициды также могут вноситься в водные объекты во время их обработки с целью уничтожения нежелательных водных растений и других гидробионтов, со сточными водами промышленных предприятий, производящих ядохимикаты, непосредственно при обработке полей пестицидами с помощью авиации, при небрежной транспортировке их водным транспортом и при хранении. Несмотря на большой вынос стойких пестицидов в водную среду, содержание их в природных водах относительно невелико из-за быстрой кумуляции пестицидов гидробионтами и отложения в илах. Коэффициенты кумуляции (во сколько раз содержание химического вещества больше в гидробионтах, чем в воде) составляют от 3–10 до 1000–500000 раз.

Различные пестициды с неодинаковой интенсивностью вымываются из почвы. Так, хлорорганические пестициды (гексохлоран, циклогексан) длительное время сохраняются в почве и выносятся в основном (на 80–90 %) талыми снеговыми водами с интенсивностью до 0,4% в год в степной зоне и до 0,7% в год в лесной. Фосфорорганические пестициды (метафос, хлорофос) задерживаются в почве сравнительно недолго и вымываются главным образом дождевыми водами. Максимальный вынос 2–3% в год в степной зоне и 4–6% в год в лесной. С орошаемых полей вынос в несколько раз больше, чем с неорошаемых (при поверхностных технологиях орошения). В любом случае смыв пестицидов ускоряется в районах с развитой эрозией почв.

Чрезмерная эксплуатация пастбищ (перевыпас скота) ведет к деградации растительного покрова и нарушению почвенного покрова. Интенсивное вытаптывание травянистой растительности происходит вблизи мест водопоя. Так, некоторыми исследованиями отмечено [Нежиховский, 1990], что в радиусе 20–40 м вокруг водопойных колодцев возникает голая площадка, на расстоянии 40–100 м – сильное разрежение травостоя, а на удалении 100–1000 м от колодца – угнетение растительности со снижением урожайности трав на 20–40 %. Наиболее опасен для травостоя период летних дождей. Во избежание вытапты-

вания травы и развития эрозионных процессов в месте водопоя должно обслуживаться не более 1500–2000 голов овец или 200–250 голов крупного рогатого скота и лошадей. Проблема заключается еще и в том, что в случае водопоя из открытых источников животные получают непосредственный доступ к водному объекту и помимо вытаптывания осуществляют прямое загрязнение воды своими фекалиями, в том числе патогенными микроорганизмами.

Одним из путей носителей загрязнений, формирующихся в агропромышленном комплексе в бассейне р. Волги, являются коллекторно-дренажные воды с мелиоративных систем, отнесенные в настоящее время к категории «нормативно-чистых». Объем коллекторно-дренажных вод с оросительных систем составляет примерно 50% от забора воды на орошение. Состав загрязнителей определяется агротехническими и агрохимическими приемами возделывания и набором сельскохозяйственных культур, что предопределяет поступление в дренажные воды пестицидов, аммонийного и нитратного азота, фосфора, солей тяжелых металлов. Дренажные воды оросительных систем имеют, как правило, повышенную минерализацию: в зависимости от исходного засоления пород зоны аэрации – от 1 до 5–6 г/л, в отдельных случаях – до 10 г/л и более (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Химический состав (диапазон и ср. знач.) дренажных и дренажно-сбросных вод с оросительных систем по регионам Российской Федерации [Желязко и др., 2002]

Регион РФ	Минерализация, г/л	Концентрация ионов (мг/л) и значение pH						
		HCO ₃	Cl	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	pH
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Астраханская область	0,4–1,96 1,2	77,0– 421 230,2	42,0– 559,0 219,9	85,0– 744,0 349,0	45,0–243,0 123,1	16,0– 180,0 58,2	38,0– 409,0 162,8	–
Волгоградская область	0,3–24,4 2,8	68,0– 737,0 368,1	14,0– 5285,0 402,2	20,0– 13845,0 1201,8	12,0–920,0 139,6	5,0– 1008,0 120,4	3,0– 6110,0 585,7	6,7– 9,4 7,9
Липецкая область	0,4–0,7 0,5	220,0– 360,0 288,2	18,0–42,0 27,7	43,0– 115,0 64,2	64,0–132,0 96,0	11,0–34,0 16,7	7,0–15,0 12,0	7,6– 7,9 7,7
Республика Калмыкия	1,2–10,6 6,7	224,0– 395,0 313,5	297,0– 3850,0 1601,0	432,0– 4080,0 2438,0	40,0–750,0 412,5	126,0– 570,0 365,0	211,0– 2503 1276,7	7,0– 8,0 7,8
Самарская область	0,3–0,4 0,3	128,0– 205,0 153,0	36,0–58,0 42,0	38,0–98,0 68,0	48,0–68,0 61,0	9,0–20,0 14,0	6,0–40,0 16,0	7,3

Экспертным путем установлено, что при средней минерализации 2,5 г/л в водные объекты поступает от 10 до 25 млн. т различных солей в год. Помимо основных химических элементов, в дренажном стоке присутствуют различные загрязнители: пестициды, аммонийный и нитратный азот, фосфор, соли тяжелых металлов (табл. 1.2).

Орошение увеличивает потери веществ из почвы, по сравнению с богарными условиями. Расчеты, выполненные для трех видов сельскохозяйственных культур – травы, озимая пшеница и кукуруза на зеленый корм, для условий богары (и сходное) и орошения дождеванием на фоне дренажа для глубины заложения дренажа – 0,5, 0,8, 1,2 м показали, что с поверхностным стоком выносятся в 1,5–2,5 раза больше минеральных удобрений, чем в таких же условиях на богаре. Кроме того, на орошаемых землях применяются интенсивные технологии возделывания сельскохозяйственных культур, что требует увеличения доз минеральных и органических удобрений, а это в свою очередь приводит к увеличению диффузного загрязнения с орошаемых площадей.

Таблица 1.2

Содержание остатков удобрений и ТМ (мг/л) в дренажных и коллекторных водах Волго-Донской оросительной системы (по данным ВКО ВНИИГ и М)

Место отбора проб	N-NO ₃	P ₂ O ₅	Zn	Cu	Pb	Cd	Mn	Fe
Дрена	9,74	1,94	0,0016	0,0045	0,1875	0,0008	0,0163	0,0764
Сбросной коллектор	10,18	2,10	0,0026	0,0045	0,0938	0,0023	0,0204	
ПДК рыб.-хоз.	9,1		0,010	0,001	0,006	0,005	0,010	0,100

Осушение имеет ряд нежелательных последствий для качества природных вод. Это происходит вследствие как непосредственного поступления в водные объекты дренажного и поверхностного стока, обогащенного органическим веществом и биогенными элементами, так и изменения направленности почвенных процессов, приводящих к образованию легко мигрирующих химических элементов и увеличению интенсивности их выноса.

Формирование химического состава дренажных вод зависит от природных условий (климат, почвы, рельеф и др.), типа растительности и наличия микроорганизмов, режима и способа осушения, параметров дренажа, способов обработки поверхности почвы, состава и доз внесения удобрений, миграционной способности разных химических веществ.

1.1.3.2 Урбанизированные территории (города, поселки и пригородные зоны)

Территории городов и пригородных зон, как правило, представляют собой поверхности, трудно проницаемые для природных вод. Крыши домов, асфальтовые или мощеные покрытия, сильно уплотненный почвенный покров с нарушенной и зачастую полностью преобразованной структурой препятствуют просачиванию талых и дождевых вод, увеличивая поверхностный сток.

Кроме того, урбанизация сопровождается концентрацией различных видов хозяйственной деятельности, которые сами по себе могут включать различные источники диффузного загрязнения. Основными источниками загрязнения поверхностного стока в городах являются осевшие аэрозоли, отходы производства, продукты разрушения почвы, покрытий, растительности, выбросы в атмосферу промышленных производств, выхлопные газы двигателей внутреннего сгорания, утечки горюче-смазочных материалов транспортных средств и др.

С единицы площади городской территории смывается от 2 до 4 раз больше органических и минеральных веществ, чем с единицы площади сельскохозяйственных угодий. Еще большие различия наблюдаются между отдельными частями городской территории, различающимися типом землепользования: между селитебными, промышленными зонами и парками, садами и прочими территориями. Кроме того, эти различия будут также проследиваться для разных сезонов года. Например, воды, поступающие в результате снеготаяния, загрязнены обычно сильнее, чем воды, сформировавшиеся в результате выпадения дождей. Так, содержание органических примесей (по БПК₂₀), в дождевом стоке колеблется от 40 до 90 мг/л, а в талых водах – от 70 до 150 мг/л. По величине данного показателя талый сток с автомагистралей и с территорий, прилегающих к промышленным предприятиям, сопоставим с городскими сточными водами. Относительно весеннего стока с территории городов следует отметить некоторые особенности этого сезона. Первая – снежные зимы и слабая уборка городских территорий от снега способствуют накоплению в снеге большого количества загрязнений, выпадающих из атмосферы и в результате движения автотранспорта; вторая – вследствие накопления большого количества загрязненного снега в довольно короткий период снеготаяния в городе происходит мощный импульсный смыв высококонцентрированного стока в водные объекты.

Значимую роль играет также вымывание ЗВ из атмосферы. В этом случае атмосферные осадки, еще не успев достигнуть поверхности земли, фактически образуют растворы различных солей, кислот, органических соединений и содержат в себе в виде взвеси твердые частицы (сажа, пыль и др.). Загрязнение атмосферы влияет на погодные условия и, наоборот, погодные условия изменяют характер загрязнения. На городскую территорию падает меньше солнечного света, наблюдается повышение температуры воздуха,



Рис. 1.5. Соотношение составляющих водного баланса городской территории по сравнению с естественным ландшафтом

облачности, туманов, гроз, увеличиваются их контрасты, уменьшается скорость ветра, относительная влажность. В качестве дополнительного фактора влияния урбанизации необходимо отметить тенденцию увеличения слоя осадков над городскими территориями в среднем до 10 % по сравнению сельской местностью [Скакальский, 1973].

Поверхностный сток с селитебных городских территорий имеет в своем составе как взвешенные, так и растворенные минеральные и органические примеси. Удельный вынос примесей со стоком поверхностных вод с территории города зависит от многих факторов: состояния дорожных покрытий, доли площадей с эродирующим грунтом, уровня организации и применяемой технологии уборки территорий, технологий удаления бытового мусора и промышленных отходов, уровня производства на предприятиях, режима работы пыле- и газоочистных установок, уровня эксплуатации автотранспорта, локализации участков территории, где неизбежны просыпы и проливы сырья и промежуточных продуктов, форм и технологий складирования и транспортировки сыпучих и жидких материалов [Гордин и др., 1990; Кирпичникова, 1991; Китаев, 1992].

Анализ данных показывает, что на содержание взвешенных веществ основное влияние оказывают интенсивность дождя и продолжительность предшествующего периода без осадков. Для загрязненности дождевого стока нефтепродуктами большое значение имеет интенсивность движения транспорта.

Преобладание искусственных покрытий, уплотнение, радикальное изменение структуры и преобразование естественного почвенного покрова способствуют увеличению поверхностного стока и смыва ЗВ, ведущих к деградации водных объектов (рис. 1.5).

Так, специальные исследования, проведенные на 125 участках рек в штате Коннектикут (США) в 2005–06 гг., показали, что ни на одном из них с до-

лей площади водосбора, покрытой трудно проницаемыми поверхностями более чем на 11–12 %, качество воды не соответствовало принятым в штате критериям здоровой водной экосистемы [EPA-State Approach..., 2013]. Указанная доля трудно проницаемых территорий послужила своеобразным критерием необходимости разработки специальных программ принятия водоохраных мер.

Всестороннее исследование влияния непроницаемых территорий на водные экосистемы выполнено специализированным центром по защите водосборов в США в начале 2000-х гг. [Impacts..., 2003]. Согласно указанной работе, ухудшение показателей качества воды начинает проявляться при превышении доли трудно проницаемых площадей более чем на 10%, а деградация водной экосистемы происходит при увеличении указанной доли свыше 25%.

Исследования такого рода представляют большой интерес для правильного планирования развития территорий, организации городских ландшафтов и поддержания экологической устойчивости водных экосистем, испытывающих влияние урбанизации. К сожалению, в отечественной научной и методической литературе эти вопросы не получили еще широкого распространения, не говоря уже о практике управления городским хозяйством, где в лучшем случае все сводится к расчистке и благоустройству прибрежной зоны ручья или пруда. Зачастую сами работы по благоустройству представляют собой строительство набережных, сопровождаются прокладкой и мощением дорожек, возведением павильонов и игровых площадок, следствием чего является дополнительное увеличение непроницаемых поверхностей и рекреационной нагрузки.

Использование реагентов для борьбы с гололедом приводит к увеличению минерализации воды. В состав реагентов входят хлориды различных металлов (натрия, магния, кальция, калия), в них также могут содержаться карбамид, гипс, цианиды и другие вещества, реакция которых на взаимодействие с окружающей средой еще не изучена досконально. Когда снег тает, эти вещества и их компоненты попадают в талые воды, а также в грунт придорожной полосы, что влияет на химический состав поверхностных и грунтовых вод, изменяет кислотность и вызывает засоление почв, угнетает развитие растительного покрова, влияет на видовой состав растительности, усиливает коррозию автомобилей, автодорожных конструкций и др.

Основным способом борьбы с зимней скользкостью на автомобильных дорогах общего пользования в России пока остается фрикционный. Удельный вес применения фрикционных материалов составляет 94,3%. Анализ опыта зарубежных стран показывает, что там достаточно широко применяются различные химические материалы для борьбы с гололедом на дорогах и городских улицах. Так, в США используют более 10 млн т хлористого натрия и 300 тыс. т хлористого кальция, во Франции – 1,2 млн т, в Англии – 1,5 млн т, в Дании – до 400 тыс. т, в Финляндии – до 150 тыс. т хлоридов.

В среднем 5 млн т дорожных солей ежегодно используется на дорогах Канады. Из-за опасений по поводу того, что большое количество хлоридов высвобождается в окружающую среду, проблема использования дорожной соли, а также рассолов, используемых при пылеподавлении, прошла всеобъемлющую пятилетнюю научную оценку в соответствии с Законом о защите окружающей среды Канады 1999 г.

За последние годы для борьбы с зимней скользкостью стали применять наряду с хлористыми солями более приемлемые с экологической точки зрения противогололедные материалы на основе ацетатов и формиатов [Автомобильные дороги..., 2006].

Для применения противогололедных смесей существуют определенные нормативы. Так, количество реагентов не должно превышать норму в 2 кг/м² дорожного покрытия, что представляется избыточным. При превышении содержания хлористого натрия в снежном покрове более 0,2 кг/м², применение хлоридов должно быть прекращено, а для борьбы с гололедом должны использоваться другие методы, поскольку очистка сточных вод с поверхности автодорог от хлоридов далеко не всегда возможна на практике [Электронный ресурс EcoLife, 2020]. Более того, хлориды в отличие от многих других веществ хуже задерживаются почвогрунтами и легко проникают в грунтовые воды. При этом ведение эффективного контроля за концентрацией хлоридов в снеге в реальных городских условиях часто является трудновыполнимой задачей. Норма внесения зависит от вида реагента, температурного режима и толщины ледяной корки. Для каждого реагента существует своя формула расчета, по которой можно высчитать норму расхода с учетом всех факторов, имеющих существенное значение, что также вносит дополнительные трудности в их применение, учитывая недостаточную квалификацию дорожных рабочих (рис. 1.6)¹.

Наиболее частые ошибки при применении реагентов заключаются в неправильной, зачастую избыточной, дозировке, в выборе несоответствующего температурного режима, в общем незнании правил работы с антигололедными средствами и технологии их нанесения, несоблюдении условий хранения, отсутствии надлежащего контроля за их использованием.

Все эти факторы приводят к загрязнению территории городов минеральными веществами, которые так или иначе попадают в ливневую канализацию и далее в близлежащие водные объекты, изменяя химический состав вод и увеличивая содержание в них солей. Для р. Москвы за последние 100 лет сезонная динамика минерализации заметно изменилась. В начале прошлого века минерализация речной воды повышалась от мая к марту. Уменьшение минерализации происходило в период снеготаяния. К концу двадцатого века внутригодовой ход минерализации изменился на противоположный: содержание солей весной повышается и снижается к концу лета за счет раз-

¹ Источник фото на рис. 1.6: <https://varlamov.ru/3388085.html>



Рис. 1.6. Антигололёдные реагенты на улицах Москвы

бавления дождевыми и грунтовыми водами, при этом общее содержание солей возросло почти в два раза. Установлено также, что для некоторых рек в составе поверхностных вод соотношение хлоридов и сульфатов смещено в сторону хлоридов, что говорит о глубокой перестройке условий формирования качества воды на фоне широкого использования противогололедных реагентов и накопленного загрязнения в городских почвах [Словягина и др., 2020].

Существенную нагрузку на водные объекты вносит *загрязнение атмосферы*.

Наблюдения за снежным покровом вблизи городов используются как индикатор состояния атмосферного воздуха. Качественный анализ химического состава позволяет идентифицировать источники атмосферных выбросов и получить пространственные распределения параметров на городских и прилегающих к городу территориях.

Выпадающий снег эффективно сорбирует примеси из атмосферы и депонирует не только влажные выпадения атмосферы, но и сухие пылевые выбросы от техногенных источников и автомобильного транспорта.

В период снеговой паводка талые воды выступают активным переносчиком аэрозольных и водорастворимых форм токсикантов. Как показывают мониторинговые исследования [Василенко и др., 1985, Василевич и др., 2009], концентрация ЗВ в снеге оказывается на 2–3 порядка выше, чем в атмосферном воздухе, поэтому измерения содержания веществ могут производиться

достаточно простыми методами и с высокой степенью надежности. Исследование снежного покрова в городах позволяет также решать задачи идентификации источников антропогенного загрязнения рассматриваемой территории.

В качестве информативных химических индикаторов состояния снежного покрова и химических антропогенных загрязнений рекомендуется использовать следующие микроэлементы: Zn, Pb, Cu, Hg, As, Se, так как в условиях таяния снега они не трансформируются, а лишь перераспределяются в компоненты экосистем: почву, взвешенное вещество, донные осадки. Самым информативным компонентом в снежной массе служат твердые частицы, так как они сорбируют наибольшее количество микроэлементов при формировании снежного покрова.

Существует восемь наиболее распространенных и опасных групп веществ, загрязняющих воздух [Небел, 1993]:

- взвеси (частицы и капли), находящиеся в воздухе во взвешенном состоянии и наблюдаемые визуально в виде смога или дымки. Другие загрязняющие компоненты, присутствующие в газо- или парообразном состоянии, невидимы, за исключением буроватого диоксида азота. Взвеси могут переносить химические вещества, растворенные в них или сорбированные их поверхностью;
- углеводороды и другие летучие органические соединения (например, бензин, растворители для красок);
- угарный газ;
- оксиды азота;
- оксиды серы, в основном диоксид (сернистый газ);
- тяжелые металлы;
- озон и другие фотохимические окислители;
- кислоты, в основном серная и азотная (чаще всего присутствуют в виде капель жидкости, образующих кислотные дожди и туманы).

ЗВ, попадающие в воздух, могут переноситься на большие расстояния. Поэтому ареал загрязнения, как правило, значительно превышает территории самих городов. Значительный объем в загрязнении атмосферы приходится на предприятия энергетического комплекса.

1.1.3.3 Транспорт

В связи с быстрым развитием *автотранспорта*, большим числом и сильной токсичностью веществ, содержащихся в выхлопе автомобильных двигателей, загрязнение окружающей среды автотранспортом представляет собой особую опасность.

В крупных городах основное атмосферное загрязнение приходится на автотранспорт, для Москвы, например, его доля превышает 90%, за ним следуют выбросы объектов теплоэнергетики и промышленных предприятий.

Таблица 1.3

Ориентировочный состав отработанных газов автомобильных двигателей

Компоненты	Размерность	Пределы концентраций компонентов для типов двигателей	
		бензиновые	дизельные
Азот, N	% объема	74...77	76...78
Кислород, O ₂		0,2...8,0	2...18
Пары воды, H ₂ O		3,0...13,5	0,5...10,0
Диоксид углерода, CO ₂		5,0...12,0	1...12,0
Углеводороды, CH (суммарно)		0,2...3,0	0,01...0,50
Оксид углерода, CO		0,1...10,0	0,01...0,30
Оксид азота, NO _x		0,0...0,6	0,005...0,200
Альдегиды		0,0...0,2	0,0...0,06
Оксиды серы (сумм.)		мг/л	0,0...0,003
Сажа	0,0...100		0,0...20000
Бенз(а)пирен	0,0...25		0,0...10,0
Соединения свинца	0,0...60		

В отработанных газах автомобилей насчитывается более 200 химических соединений, в т.ч. такие опасные для здоровья человека, как окись углерода, окислы азота, различные углеводороды. Бензиновые двигатели, кроме того, выделяют продукты, содержащие металлы, хлор, бром, а дизельные – значительное количество сажи, частичек копоти ультрамикроскопических размеров. Входящие в состав отработанных газов газообразные примеси под действием солнечного света вступают в реакции, в результате которых образуются вещества, по своей токсичности, превышающие исходные загрязнители. Накопление этих продуктов в воздухе при неблагоприятных метеорологических условиях приводит к образованию фотохимического смога и образованию ядер конденсации осадков.

К токсичным компонентам отработавших газов относятся: оксид углерода, углеводороды, оксиды азота, оксиды серы, альдегиды, сажа, бенз(а)пирен, соединения свинца.

По данным исследований, легковой автомобиль при среднегодовом пробеге 15 тыс. км «потребляет» 4,35 т кислорода и выделяет 3,25 т углекислого газа, 0,8 т оксида углерода, 0,2 т углеводородов, 0,04 т оксидов азота. В отличие от промышленных предприятий, выброс которых концентрируется в определенной зоне, автомобиль рассеивает продукты неполного сгорания топлива практически по всей территории городов, причем непосредственно в приземном слое атмосферы.

На железнодорожном транспорте источниками выбросов вредных веществ в атмосферу являются объекты производственных предприятий и подвижной состав. Они подразделяются на передвижные и стационарные.

Из стационарных источников наибольший вред наносят котельные. В зависимости от применяемого топлива при его сгорании выделяются различные количества вредных веществ. При сжигании твердого топлива в атмосферу выделяются оксиды серы, углерода, азота, летучая зола, сажа. Мазуты при сгорании в котельных агрегатах выделяют с дымовыми газами оксиды серы, диоксид азота, твердые продукты неполного сгорания ванадия. Особый интерес представляет загрязнение продуктами истирания металлических узлов подвижного состава и контактной сети. Помимо загрязнения окружающей среды, металлическая пыль, осаждающаяся на поверхность изоляторов контактной сети, создает слой загрязнения, при увлажнении которого атмосферной влагой может происходить нарушение изоляционных свойств покрытия. Качественный анализ сухого осадка после выпаривания снеговых проб показывает также наличие в снеге сажи, окислов металлов: свинца, цинка, натрия, алюминия, кремния, меди, хрома.

Водный транспорт не является ведущим для диффузного загрязнения водных экосистем. По некоторым оценкам, его вклад существенно ниже, чем, скажем, от сельского хозяйства и урбанизированных территорий. Воздействие от одного судна, причала или пристани на качество воды может быть невелико, однако, принимая во внимание количество таких объектов на внутренних водных путях, суммарный эффект их воздействия становится весьма ощутимым. Кроме того, большую роль играет тот факт, что суда и обслуживающая водный транспорт инфраструктура имеют непосредственное соприкосновение с водой в условиях фактического отсутствия каких-либо буферных зон, способных перехватить загрязнения.

Воздействие судоходства на водную среду и ее обитателей проявляется в нескольких формах:

- «прямое» загрязнение нефтепродуктами вод от работы судовых двигателей, аварий, технической неисправности судов, особенностей технологий грузоперевозок, эксплуатации и обеспечения работы водного транспорта;
- «шумовое» загрязнение водоемов от работы судовых двигателей и вибрации корпуса судов, влияющее на жизнедеятельность обитателей водоемов;
- «косвенное» загрязнение, включающее в том числе «механическое», «химическое» (от попадания в воду органических и неорганических химических соединений вместе с обрушающимися в результате переработки берегов от действия судовых волн, массами грунта), «тепловое» загрязнение из-за переработки берегов, которое вызвано обрушением берегов от судовых волн, попаданием земляных масс в воду, что сказывается на уменьшении глубин, интенсивности прогрева мелководий и, соответственно, уменьшения содержания растворенного в воде кислорода. Прогрев воды ведет также к образованию «биологического» загрязнения от развития водной биоты и зарастания берегов.

Наибольшее влияние на переработку берегов от судоходства оказывают суда в речной части водохранилищ, где расстояние от оси судового хода до берега малы и глубины судового хода минимальны. Для озерной части водохранилищ влияние судовых волн на эрозию берегов значительно меньше.

Современное интенсивное судоходство оказывает существенное отрицательное влияние на воспроизводство рыбных запасов. Особенно ощутимым это влияние становится при использовании на реках крупнотоннажных судов, имеющих осадку 3,5–3,8 м.

После прохождения судов такого класса в зоне распространения кильватерной струи резко повышается концентрация взвешенных веществ. Так, по результатам исследований на р. Волге фоновые концентрации взвешенных веществ составляли 23–32 мг/л у поверхности и 37–70 мг/л у дна, то после прохождения судов они составляли от 34 до 114 мг/л у поверхности и от 65 до 200 мг/л у дна. Столь значительное повышение концентрации взвешенных веществ приводит к образованию в последующем наилка на нерестовом субстрате нерестилищ и гибели икры.

Судоходство оказывает также волновое воздействие на берега рек и водохранилищ, вызывает их эрозию с последующим выносом продуктов разрушения в водный объект. На эрозию берегов водных объектов в значительной степени влияют облесенность береговой полосы, характеристики пород, слагающих берега, и хозяйственная деятельность или бездействие человека. Недостаточное внимание к данному вопросу со стороны исполнительных органов способствует разрушению берегов и, как следствие, обрушению в воду больших объемов почвогрунтов, нередко прямо с растительным покровом, интенсивному заилению водных объектов, зарастанию водоемов и их цветению.

К факторам негативного воздействия, которое оказывает на качество воды эксплуатация судов, относятся *утечки и/или сбросы подсланевых (льальных) вод*, содержащих горюче-смазочные материалы (ГСМ), судовых сточных вод и *разливы нефтепродуктов*, включая случаи самостоятельного обслуживания владельцами двигателей катеров и лодок.

Любое судно является в миниатюре таким же загрязнителем воды, как и населенный пункт, стоки которого включают хозяйственно-бытовые и производственные сточные воды. Так, на транспортных судах и судах технического флота в результате эксплуатации судовых механизмов и жизнедеятельности экипажа образуются загрязненные сточные воды – нефтесодержащие подсланевые, фекальные, хозяйственно-бытовые (серые), а также производственный и бытовой мусор, пищевые отходы. Во избежание попадания загрязненных стоков в реки и водохранилища необходимо оборудование всех типов судов закрытой системой бункеровки топлива и масла; обеспечение отдельными системами сбора подсланевых вод, сточных вод, мусора и пищевых отходов; оборудование установки для очистки и уничтожения каждого вида загрязнений или, при их отсутствии, удаление с судов отходов осуществлять передачей их на специально оборудованные суда-

сборщики, суда комплексной переработки отходов или на береговые стационарные сооружения. В настоящее время основная масса судов оснащена установками очистки или сбора хозяйственно-бытовых сточных вод для последующей сдачи их на береговые станции очистки и утилизации, а также установками для сжигания сухого мусора.

Кроме того, исследование этого вопроса в рамках разработки нормативов допустимого воздействия для водохранилищ водораздельного бьефа Канала им. Москвы, показывают, что имеющиеся технические средства в Московских речных портах обеспечивают сбор и передачу на утилизацию всего объема нефтесодержащих вод. Но положение со сбором и обработкой сточных вод, мусора и пищевых отходов остается напряженным, поскольку этих средств недостаточно, особенно с всевозрастающим количеством моторного маломерного флота, который оказывает серьезное влияние на гидрохимический и микробиологический режим водохранилищ. На современных маломерных прогулочных судах подсланевые воды не образуются, при этом отсутствуют судовые установки по очистке и обеззараживанию сточных вод, образующихся на судах. Кроме этого, большинство указанных судов неподнадзорны Речному регистру РФ и, как следствие, имеют ослабленный контроль со стороны государственных надзорных органов. Ситуацию усугубляет отсутствие действенной системы менеджмента качества утилизации сточных вод.

Вариантами утилизации с маломерных судов фекальных и серых сточных вод могут быть:

- прием сточных вод на специальных береговых пунктах утилизации;
- прием сточных вод на специально оборудованные суда – очистительные станции.

В настоящее время ближайший береговой пункт слива для судов, базирующихся на водохранилищах водораздельного бьефа Канала им. Москвы, размещен в Северном порту. Количество плавучих очистительных станций, приписанных к Северному порту, составляет две единицы. Это обуславливает оказание услуги по приему сточных вод только по установленному графику, что является дополнительным обременением для судовладельцев и капитанов судов. В связи с этим альтернативными и наименее обременительными вариантами утилизации сточных вод для судовладельцев могут быть сброс сточных вод в водные объекты (от одного судна от 100 до 1500 кг единовременно), что в соответствии с законодательством РФ недопустимо, или герметичная перекачка с судов специальными помпами сточных вод в канализационную сеть по месту отстоя судов (коттеджные поселки, яхт-клубы, базы отдыха и др.) Однако результаты обследований акваторий водохранилищ водораздельного бьефа показывают, что количество размещенного маломерного флота на них достигло значительных размеров, а береговые базы приема сточных вод в местах отстоя судов отсутствуют [Пояснительная записка..., 2009].

При транспортировке нефти по воде в среднем теряется 0,6% перевозимого объема. Это балластные, промывочные и подсланевые воды, которые в основном доставляются на береговые или плавучие очистные станции для очистки, но даже при эффективности очистки таких вод в 85 % поступление нефти и нефтепродуктов в воду составляет $0,006 \times (1 - 0,85) \times 100 = 0,09\%$ от объема транспортировки. Примерно такое же количество нефти попадает в воду при различных авариях нефтеналивных судов, несмотря на то, что танкеры оборудуются двойными бортами и днищем, автоматической сигнализацией об утечках нефтепродуктов.

На реках и водохранилищах всегда был развит маломерный флот (лодки, катера). Выхлопные газы подвесных лодочных моторов составляют 10–20% потерь топлива. За час работы отечественного мотора в воду выделяется до 142 мг горюче-смазочных материалов. Общее загрязнение водоемов нефтепродуктами в местах массового использования маломерного флота для отдыха и рыболовства может быть весьма значительным, например, в Ивановское водохранилище поступает от 17 до 46 т бензина в год.

Величина допустимого воздействия от лодочных моторов оценивается часто следующим образом. При часе работы лодочного мотора в водоем попадает порядка 5 г моторного масла (в зависимости от технического состояния и мощности двигателя). Исходя из допущения предельных допустимых концентраций вредных веществ, можно рассчитать максимальное количество маломерных судов, эксплуатацию которых можно допустить на данном водоеме. Например, рассчитано, что безопасное количество маломерных судов для Угличского водохранилища не должно превышать 6000 единиц [Либерфорт, 1979]. Разумеется, данные расчеты следует считать весьма условными, экологически адекватный лимит должен быть меньше. Прежде всего, потому что загрязнение от лодочных моторов происходит не только во время движения судов, но во время стоянки, заправки и обслуживания, а также комплексности воздействия, которая в существующих методиках не учитывается.

Все это приводит к ухудшению качества воды, рыбы, ухудшению кормовой базы, гибели молодняка, отклонения от нормального развития, появления рыб-мутантов и т.д. Негативное влияние нефтепродуктов на водную экосистему проявляется уже при их концентрациях, начиная с 0,05 мг/л. При этом сильно падают органолептические свойства воды, рыба начинает приобретать неприятный привкус. Концентрации свыше 0,5 мг/л для рыбы являются губительными. Также известно, что одна тонна пролитой в воду нефти образует на поверхности водного объекта тонкую пленку, покрывая акваторию площадью до 12 км² [Комплексное использование..., 1985]. Такая пленка является непреодолимым препятствием для проникновения в воду атмосферного кислорода, замедляет скорость аэрации водоема, вызывает заморные явления и массовую гибель рыбы и водоплавающей птицы. Отрицательное влияние на биоту оказывают также поверхностно-активные вещества, использующиеся для борьбы с нефтью. Кроме того,

существенно снижается привлекательность использования водного объекта в целях рекреации, водных видов спорта, купания и рыбной ловли.

Очевидную роль играет *поверхностный смыв* (ливневой сток) с территории пристаней, портов, судоремонтных предприятий, топливо-заправочных станций, мест очистки и мойки корпусов и судовых палуб, проведения лако-красочные работ.

Грузовые и нефтеналивные порты создают локальные зоны загрязнения окружающей среды. В них пересекаются, как правило, несколько видов транспорта. Порты осуществляют накопление, хранение и сортировку грузов, их принятие и отправление, выполнение перегрузочных работ и пассажирских операций, бункеровку судов (заправку топливом, водой, продуктами питания и т.д.), обеспечение условий движения судов в акватории порта и их отстоя. Часто к порту примыкают железнодорожные станции с парком отстоя вагонов. На территории порта или около него могут размещаться судоремонтные предприятия или заводы, доки, затоны, хранилища для топлива и хранилища и очистные сооружения для приема фекальных, подсланевых и хозяйственных вод с судов.

Другие объекты инфраструктуры флота (шлюзы, причалы и пристани, затоны и др.) оказывают значительно меньшее и, как правило, периодическое отрицательное воздействие на водный объект.

Одним из факторов негативного воздействия, которое оказывает на качество воды судоходство, следует отнести *проведение путевых работ* при эксплуатации речного флота. В комплекс путевых работ входят: землечерпание, траление, дно- и берегоочистение, укрепление берегов. Наибольший удельный вес составляет землечерпание (дноуглубление), т.е. удаление наносов на судовом ходу для обеспечения необходимых для судоходства глубин. Землечерпание для обеспечения условий судоходства и отстоя судов, включая маломерные, выполняются в зависимости от интенсивности распространения наносов в пределах судового хода и в пунктах отстоя. Тральные работы выполняются для обнаружения и удаления препятствий в пределах судового хода. Эти работы способствуют взмучиванию донных отложений и выносу содержащихся в них ЗВ, что способствует вторичному загрязнению водного объекта.

1.1.3.4 Добыча полезных ископаемых и промышленные площадки

Данный вид деятельности сопровождается образованием шахтных, карьерных и рудничных вод, фильтрацией воды через отвалы горных пород и сопутствующим растворением, выносом рудных минералов, поверхностным смывом с территории предприятий и мест добычи, атмосферными выпадениями.

Поверхностный сток с территории промышленных предприятий характеризуется достаточно сложным химическим составом, который зависит от

применяемых на производстве технологических процессов. Концентрация поллютантов зависит от общего санитарно-технического состояния территории, контролем за технологическими процессами, организации хранения и транспортирования сырья, промежуточных и готовых продуктов, а также от принятой системы обращения с отходами. В случае крупных предприятий, включающих различные производства, важно понимать, что поверхностный сток по своим гидрохимическим показателям может быть неоднороден и заметно отличаться от стока с других участков и общего стока, что должно учитываться при разработке систем мониторинга, технологии очистки и схемы его отведения.

В зависимости от состава загрязнений, накапливающихся на промышленных площадках и смываемых поверхностным стоком, промышленные предприятия и отдельные их территории можно разделить на две группы.

Первая группа – предприятия, сток с которых по химическому составу близок к поверхностному стоку селитебных зон и не содержит специфических веществ с токсичными свойствами. К этой группе относятся предприятия черной металлургии (за исключением коксохимических производств), машиностроения, автомобильного транспорта, угольной промышленности и некоторых отраслей химической промышленности. Основными примесями, содержащимися в стоке с территорий предприятий этой группы, являются грубодисперсные примеси, нефтепродукты, сорбированные главным образом на взвешенных веществах, минеральные соли и органические примеси естественного происхождения. Но в отдельных случаях концентрация примесей в поверхностном стоке с территории промышленных предприятий может достигать значительных величин, в частности при сборе в ливневую сеть отработанных нефтепродуктов и других отходов производства, аварийных проливах и просыпках сырья.

Вторая группа – предприятия, на которых по условиям производства не представляется возможным в полной мере исключить поступление в поверхностный сток специфических веществ с токсичными свойствами или значительных количеств органических веществ, обуславливающих высокие значения показателей ХПК и БПК стока. Это предприятия цветной металлургии, обработки цветных металлов, коксохимического производства, бытовой химии, химической, лесохимической, целлюлозно-бумажной, нефтеперерабатывающей, нефтехимической и микробиологической промышленности, кожевенно-сырьевые и кожевенные заводы, мясокомбинаты, шпалопропиточные заводы, аэропорты, производства химической и электрохимической обработки поверхностей металлов (гальванические производства), окрасочные производства, производства синтетических моющих средств (СМС) и др.

Проблемы диффузного загрязнения природных вод, связанные с крупнотоннажным промышленным производством из второй группы, рассмотрим подробнее на примере предприятий калийной промышленности. Следует

отметить, что принятые современные схемы разработки калийных месторождений, производства калийных удобрений связаны с извлечением на поверхность значительных объемов растворимых горных пород, хранением на поверхности больших объемов твердых и жидких отходов, которые, безусловно, могут обуславливать значительные потоки ЗВ в речных бассейнах, трактующихся как диффузное загрязнение.

Калийная руда извлекается из двух основных типов рудных месторождений:

- глубоко залегающих древних морских отложений, которые обычно находятся в пределах от 400 м до более 1000 м ниже поверхности земли;
- скопления соляного раствора на поверхности, такие, как Мертвое море на Ближнем Востоке и Солт-Лейк в Северной Америке.

Большая часть калийного сырья добывается в подземных месторождениях с использованием обычных методов механизированного подземного выщелачивания, хотя также используются методы добычи руд. Как правило, подземные рудники производят от 1 до 10 млн т калийной руды в год. Поверхностные рассолы эксплуатируются с использованием солнечных испарительных прудов для концентрирования и осаждения калия. Испарительные пруды обширны, некоторые покрывают более 90 км² площади суши при мощности производства около 8 млн т калийной руды в год.

Извлечение руды сопровождается рядом технологических процессов. Механизированные подземные горные работы являются наиболее широко используемым методом добычи калийной руды. В зависимости от таких факторов, как глубина залегания руды, геометрия, толщина и консистенция, геологические условия залегания руды и окружающих пород, а также наличие вышележащих водоносных горизонтов, могут применяться различные технологии и оборудование.

После добычи руда обычно переносится с помощью мостового конвейера, челночных машин или грузовых самосвалов в систему конвейеров, которые перемещают ее в подземные бункеры для хранения.

В настоящее время в ряде предприятий калийной промышленности, например в Северной Америке, используют не шахтный способ добычи, а процесс разделения на основе большей растворимости сильвинита (KCl) по сравнению с галитом (NaCl) при повышенных температурах в рассоле. Обычно рассол нагревают на поверхности, а затем вводят в руду через лунки. Нагретый раствор галита поглощает сильвинит из рудного тела и затем выкачивается обратно на поверхность в ряд прудов, где калий осаждается вместе с охлаждением рассола. Калий извлекается из прудов экскаваторами и отправляется на дальнейшую переработку. Рассол снова нагревается, и процесс повторяется. Преимущество метода заключается в том, что он позволяет добывать руду на большей глубине, чем при обычных методах подземной добычи.

Обработка калия обычно включает ряд этапов: измельчение; обесшламливание; выделение нерастворимого осадка; выделение полуразмельченной

горной породы; сушка; уплотнение и гранулирование; утилизация отходов. Для разделения отходов и побочных продуктов, таких как галит, и концентрирования калия используются четыре основные технологии: флотация, электростатическая сепарация, термическое растворение с кристаллизацией и сепарация в тяжелых средах. Некоторые из них могут использоваться вместе для улучшения сепарации.

Флотация является наиболее широко используемой старой технологией, основанной на разделении гидрофильных и гидрофобных частиц в жидкой среде. Электростатическая сепарация представляет собой сухой процесс, в котором минералы разделяются с использованием их различных электрических проводимостей. Термическое растворение с кристаллизацией основано на том же принципе, что и растворение рассолом, в результате чего нагретый рассол растворяет преимущественно хлорид калия. Сепарация в тяжелых средах основана на различии в удельном весе между сильвинитом и галитом для выборочного удаления более легких частиц сильвинита.

В силу разнообразия технологических процессов и масштабности производства такого рода существенно влияют на качество воздуха, воды и почвогрунтов. Обогащение калийных солей сопровождается большими объемами отходов, включая сточные воды, избыточные рассолы, шламы, содержащие глину и отходы галита. Зона производства на поверхности земли обычно ограничивается непосредственной площадью шахты, зона, занятая отходами, может составлять до нескольких квадратных километров.

Наиболее часто используют следующие методы размещения этих отходов:

- укладка отходов соли на поверхности;
- удержание отходов, таких, как избыточные рассолы и шламы в шламохранилищах или водоемах (рис. 1.7);
- управляемый сброс отходов из различных отстойников в реки и океаны;
- закладка отходов в выработанные подземные пустоты;
- закачка избыточных рассолов по скважинам в глубокие горизонты;
- использование отдельных составляющих отходов для различных нужд на месте или в других видах народного хозяйства.

Ориентировочные расчеты суммарного объема отходов, производимые ежегодно девятью калийными рудниками в провинции Саскачеван (Канада), работающими при полной добыче, составляют 15–25 млн т твердых отходов и 3,0–3,8 млн м³ рассолов [Philip M. Mobbs, 2010]. Заданный объем шламохранилища для одних только жидких отходов составляет приблизительно 4,2 млн м³ ежегодно. В настоящее время, однако, и уровни добычи калийных руд, и объем отходов составляют приблизительно 50% указанных величин. В Германии компания «K+S» в 2014 г. выпустила около 5 млн т продукции. При этом образовалось около 13 млн т отходов,

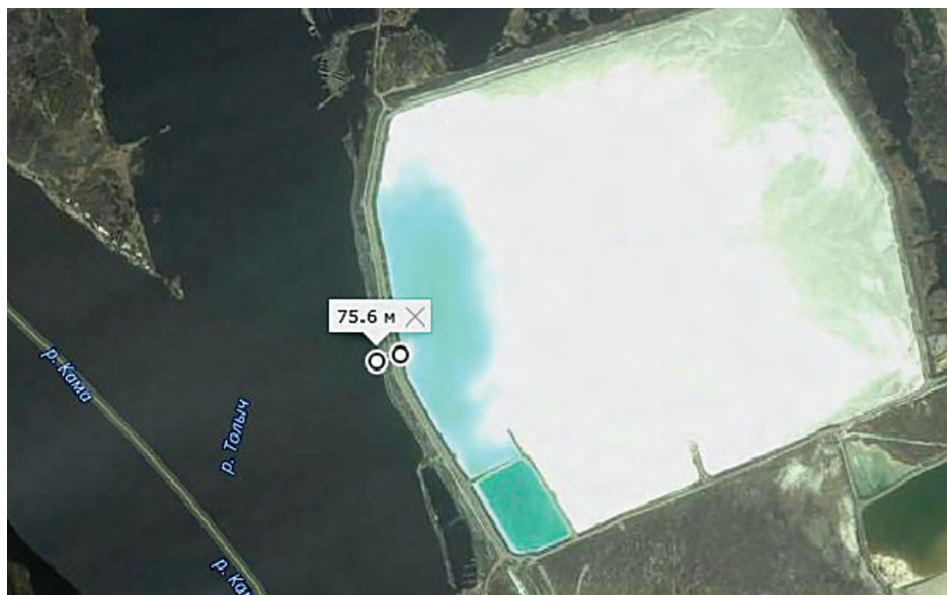


Рис. 1.7. Шламонакопитель Березняковского содового завода (с указанием расстояния до р. Талыч – притока р. Камы)

большая часть из которых была складирована на земной поверхности, часть твердых отходов заложена в выработанные шахты, 1,5 млн т рассолов сброшено в реки, 1,4 млн т рассолов закачаны через глубокие скважины в подземные горизонты. Благодаря постоянному вниманию к этому вопросу со стороны производителей и применению новых схем очистки солей произошло сокращение жидких отходов на 70%, а удельный объем жидких отходов уменьшился с 2,2 м³ на тонну продукта до 0,6 м³/т [Henry et al., 2001].

В Белоруссии за 2014 г. произведено 7.5 млн т калийных удобрений, при этом 75% добытой руды составляют отходы производства. Из них 3,4% используется на различные нужды; так, в 2012 г. 827,9 тыс. т отходов галита было использовано в коммунальном хозяйстве (в основном как противогололедный реагент на дорогах). РУП ПО «Беларуськалий» все отходы складирует на поверхности земли [Сапешко и др., 2007].

Объем образующихся отходов и способы их отведения и утилизации определяются видом, составом и качеством добываемого сырья, т.е. месторождением, и способами добычи и обработки. Способ добычи и оборудование выбираются в зависимости от таких факторов, как глубина залегания рудного тела, геометрия, мощность и последовательность чередования пластов, геологические и геотехнические условия залегания руды и окружающих пород и наличие водоносных горизонтов.

Вопросы отведения и утилизации избыточных рассолов и глинисто-солевых шламов на калийных предприятиях мира удобно рассматривать по месторождениям. Именно месторождение, т.е. вид и состав добываемого

сырья, а также географическое положение, в частности, близость водных объектов, и определяют, главным образом, способы отведения и утилизации отходов. Так, на калийном месторождении в провинции Саскачеван (Канада) и твердые отходы, и рассолы складировались на поверхности земли около заводов в бассейнах сброса сточных вод, которые являются искусственно созданными лагунами и/или естественными понижениями [Philip M. Mobbs, 2010]. Нерастворимый остаток и рассол направляются в отстойники у основания отвала. Часть осветленных рассолов после осаждения соли и глинистых частиц возвращается в процесс. Чтобы минимизировать количество твердых отходов, складироваемых на поверхности, на руднике Vanscoy компании Агриум используются методы выборочной выемки для повышения качества руды поташа, поднимаемой на поверхность. Многие рудники (Vanscoy Агриум, Penobsquis Potash Corp (NB)) для уменьшения объемов отходов галита выпускают дополнительно соль (каменную или пищевую), которая используется в качестве кормовой добавки скота, стабилизатора для дорожного строительства и как противогололедный реагент. Закачка в глубокие скважины отработанных рассолов в соединении со складированием их на поверхности достаточно давно осуществляется на одном руднике в юго-восточном Саскачеване. Рассолы вводятся в глубокие водоносные горизонты силурийского возраста. Утилизация отходов в Нью-Брансуике (Канада) отличается от других месторождений благодаря особому, почти вертикальному, расположению калийных пластов. В выемочные камеры закладываются, в основном, твердые фракции отходов как от подземных дробилок, так и от процесса обогащения калийных руд. Жидкие фракции, перенасыщенные рассолы после осаждения глинистых шламов качаются обратно на поверхность, где вновь включаются в процесс обогащения. Дополнительный KCl, восстановленный из рассолов, поступающих с закладки галита, уплотняется, дробится, доводится до требуемого размера и прибавляется к основному продукту.

Внедрение замкнутых систем водоснабжения и удаления отходов дает значительные преимущества в повышении эффективности программы борьбы с загрязнением окружающей среды. Потенциальные источники загрязнения в виде трех главных потоков отходов (соляные хвосты, шламы и рассолы) интегрируются в процессе добычи. Соляные хвосты стали существенным компонентом разработанного метода закладок, рециркуляция рассолов увеличила процент извлечения продукта и исключила необходимость сброса загрязненных жидких отходов, а шламы и некоторое количество рассолов эффективно закладываются в соляные камеры [Philip M. Mobbs, 2010].

Система отведения и утилизации отходов в Нью-Мексико (США) является стандартной и обычной для многих предприятий калийной промышленности. Глинисто-солевые шламы складироваются на территории предприятия, непрерывный мониторинг контролирует возможные утечки соли. Отходы от процесса флотации, главным образом галит, накапливаются

в солеотвалах. Избыточные рассолы испаряются в водохранилищах-отстойниках или передаются в естественные озера на местности, где они собираются. Методы возврата отходов в шахту изучаются, но пока они высокозатратны.

Компания «Kali und Salz GmbH» эксплуатирует три калийных предприятия в регионе Верра в Германии: Хатторф, Унтербрайтцах и Винтерсхалль. Руда обогащается с применением процессов сухой электростатической сепарации и обогащения путем мокрого теплового растворения для получения различных калийных и магниевых продуктов. На каждую тонну обогащенной руды приходится 22% продукта и 78% отходов [Henry et al., 2001]. Отходы представляют собой преимущественно соляные хвосты и растворы хлористого магния ($MgCl_2$). Применяемый процесс дает возможность в значительной степени всухую отделить полезный продукт от соляных хвостов. В то же время хлористый магний можно отделить от хлористого калия только в растворе. Это приводит к большим количествам образующихся рассолов. Отработанный рассол на каждой обогатительной фабрике закачивается в ряд накопительных бассейнов, откуда осуществляется сброс в речную систему. Сброс регулируется и контролируется посредством компьютерной системы, чтобы величина разрешенной концентрации хлоридов в 2,5 г на 1 л речной воды не была превышена, так как речной режим и скорость течения непостоянны. Немецкий концерн KaliundSalz вел закачку в подземные надсоляные горизонты с 1926 г. В настоящее время повышенное солесодержание крупного водотока-приемника р. Верра на $2/3$ обусловлено разгрузкой ранее закачанных рассолов, поэтому закачки прекращены. Концерн разработал проект отведения рассолов в море.

РУП ПО «Беларуськалий» (Старообинское месторождение) является типичным представителем горнорудных предприятий, деятельность которых всегда вызывает существенные изменения структуры природных ландшафтов. Земная поверхность оседает над отработанными подземными выработками, и большие площади плодородных земель отчуждаются для хранения отходов обогатительных фабрик. Институтом ОАО «Белгорхимпром» разработана технология регенерации отработанных шламоохранилищ, которая дает возможность неоднократно использовать построенные емкости для складирования шламовых отходов [Сапешко и др., 2007].

Как видно из вышеперечисленных примеров, для предприятий горнодобывающей промышленности характерна проблема утилизации отходов производства и других побочных продуктов. Эти проблемы решаются по-разному. Многие способы утилизации ведут к загрязнению грунтовых вод или перераспределяют ЗВ с участка добычи на другие территории и компоненты природной среды.

Сходные проблемы характерны и для Соликамско-Березниковского промузла в бассейне р. Камы, основанном на разработке одного из крупнейших в мире Верхнекамском месторождении калийных и магниевых солей (ВКМКС). Основным источником формирования загрязнения на рассма-

триваемой территории являются фильтрационные разгрузки от шламохранилищ, солеотвалов, рассолоборников, прудов-накопителей дождевых и сточных вод. В силу специфики промышленного производства в данном районе основными компонентами загрязнения сточных вод – как декларируемых точечных, так и неточечных – являются макрокомпоненты: минеральные соли, в первую очередь хлористые натрий, калий, магний. Поэтому достаточно эффективным показателем техногенного воздействия в данном районе являются хлориды.

Зона деятельности калийных предприятий ВКМКС простирается вдоль левого берега р. Камы (Камского водохранилища), которая в этой зоне течет с севера на юг, от р. Усолки на севере до р. Яйвы на юге. В этой зоне все реки, за исключением р. Камы и р. Яйвы, относятся к малым. Самая крупная из них – р. Усолка с площадью водосбора 506 км², вторая – р. Зырянка с площадью водосбора 365 км². Остальные малые реки данной территории или совсем не упоминаются в [Гидрологическая..., 1966], или по ним не указаны морфометрические характеристики. Однако именно по малым водотокам фильтрационные разгрузки поступают в Камское водохранилище.

Анализ данных наблюдений на гидрорежимных пунктах показал, что на участках промплощадок, вблизи солеотвалов или в ореоле засоления по пути фильтрации от емкости-накопителя к поверхностному водному объекту отмечается устойчивое засоление вод (от 2,7–6,4 до 118–206 г/л); в составе вод преобладают ионы хлора и натрия либо магния. При этом минерализация воды в этих скважинах с 1998 по 2015 гг. практически не меняется.

Проведенные предварительные оценки для территории активного освоения одного из крупнейшего в мире Верхнекамского месторождения калийных и магниевых солей показали, что не декларируемое диффузное загрязнение значительно превышает интенсивность декларируемых точечных источников загрязнения. Данное обстоятельство обусловлено прежде всего особенностью современных технологий выработки калийных удобрений, извлечением на земную поверхность значительных объемов водорастворимых горных пород, хранением на поверхности большого количества жидких и твердых отходов производственных процессов. Действующая система регламентации жестко ориентирована только на точечные декларируемые источники загрязнения, не направлена на минимизацию общего техногенного воздействия на водный объект, а только на минимизацию его декларируемой составляющей.

Проведенный обзор состояния калийной промышленности за рубежом показал, что в сходных природно-климатических условиях отечественные предприятия характеризуются значительно большим, порядка трех раз, удельным объемом избыточных рассолов, образующихся при производстве калийных удобрений. Необходимы совершенствование системы обогащения, переход на комбинированную, безводную технологию обогащения.

1.1.3.5 Землечерпание и переработка берегов

Землечерпание, связанное с добычей нерудных строительных материалов на подводных карьерах, прокладкой трубопроводов, подводных коммуникаций, дноуглублением с целью судоходства и другими видами деятельности, является одним из распространенных антропогенных воздействий на водные объекты (рис. 1.8). Разнообразие условий, в которых находятся эти объекты, масштабы проведения работ, использование тех или иных технологических решений при землечерпании приводят к однонаправленным, хотя и разномасштабным последствиям для качества вод и экологического состояния водных объектов.

Процесс землечерпания прежде всего связан с увеличением мутности воды, поступлением загрязняющих, в том числе органических, веществ из донных отложений и тонкодисперсных взвесей, что может способствовать быстрому развитию патогенных микроорганизмов и ухудшению санитарно-гигиенического состояния водной среды. К нежелательным эффектам относится также вынос биогенных элементов, особенно азота и фосфора, способствующих развитию процессов эвтрофирования озер и водохранилищ. Взмучивание донных отложений приводит также к резкому снижению концентрации растворенного в воде кислорода. Так, в местах слива пульпы наблюдается уменьшение содержания кислорода на 80% по сравнению с фоновым, но при этом, однако, носит локальный характер. При проведении дноуглубительных работ может происходить локальное загрязнение вод тяжелыми металлами. Взмучивание донных отложений и поступление взве-



Рис. 1.8. Работа земснаряда

шенных веществ в воду при дночерпательных работах может также изменять соотношение взвешенной и растворенной форм тяжелых металлов в водной среде, активизировать процессы седиментации, менять характер круговорота элементов в водной среде. Все эти изменения влияют на трансформацию форм существования элементов и на их токсикологические свойства.

Основная опасность дночерпательных работ состоит в образовании облака растворенных и взвешенных ЗВ, особенно при вскрышных работах, поскольку в среднем от 60 до 80% микроэлементов накапливаются в слое толщиной 10 см. Размеры загрязненного облака в значительной степени определяются толщиной слоя илистых отложений и концентрацией элементов в них, а также гидродинамическими условиями в районе работ. Как показывают данные наблюдений, мелкодисперсные частицы могут транспортироваться на значительные расстояния, хотя их концентрация с удалением от места работ заметно уменьшается, во всяком случае, до уровня, наблюдаемого при естественном ветровом взмучивании донных отложений, что связано с такой важной характеристикой черпаемого, как осаждаемость. Большинство ЗВ в черпаемых материалах имеют тенденцию к осаждению. При погрузке или разгрузке осадки находятся первоначально во взвешенном состоянии в воде. Скорость осаждения определяется исходным составом и природой отложений, методом добычи и гидродинамическими условиями водного объекта.

Одним из видов дночерпательных работ является подводная добыча нерудных строительных материалов (песчано-гравийной смеси), которая в течение многих лет проводилась на Ивановском водохранилище. Для выяснения экологических последствий этой деятельности и возможных изменений качества воды Институт водных проблем РАН начиная с 1980-х годов проводил детальные натурные исследования, которые включали измерение гидрофизических характеристик, гидрохимических и гидробиологических показателей, изучение морфометрических характеристик водохранилища в районе проведения работ.

Исследования, в частности, показали, что на изменение размеров облака мутности значительное влияние могут оказывать термическая стратификация, а также скорости ветра и внутриводоемных течений. Так, в штилевых условиях диаметр пятна мутности в поверхностном слое водохранилища сокращался до 10–15 м, что было связано с более низкой температурой воды, стекающей с баржи, и ее быстрым погружением вместе со взвесью. В этих условиях максимум концентрации взвешенных веществ всегда наблюдался в придонном слое. В условиях жаркой безветренной погоды избыточная взвесь оседала на расстоянии 150–200 м от земснаряда. При скорости ветра до 4–6 м/с влияние земснаряда прослеживалось на расстоянии до 500 м.

Из приведенных данных следует, что при работе земснаряда на водохранилище взвешенные частицы разносятся по акватории на относительно не-

большое расстояние, что обусловлено малыми скоростями течения. При этом после прекращения работы земснаряда довольно быстро происходит восстановление первоначальной концентрации взвешенных частиц.

Содержание нефтепродуктов в радиусе 400–500 м от земснаряда могло быть как выше, так и ниже фоновых концентраций, характерных для Ивановского плеса, которые, в свою очередь, превышали ПДК (0,05 мг/л) в среднем в два раза.

Анализ содержания тяжелых металлов в воде показал, что их концентрация в зоне действия земснаряда возрастает незначительно по сравнению с фоном и колебаниями по водохранилищу. Даже в те годы, когда антропогенная нагрузка на водоем в виде промышленных сточных вод была высока, процесс дночерпания не сопровождался повышением концентрации меди в окружающих водных массах. Более сложная картина наблюдалась по цинку, однако в то время даже его фоновая концентрация в три раза превышала ПДК (0,01 мг/л), а в зоне влияния земснаряда концентрация цинка изредка повышалась, а часто была ниже фоновой. По данным натурных исследований, на участках проведения дночерпательных работ наиболее заметное загрязнение вод взвешенным веществом отмечается в зоне слива с баржи. Например, содержание фосфора в сливающейся воде в 2–5 раз превышало его содержание в районе работы земснаряда. Данное влияние прослеживалось на акватории в радиусе 300–500 м. Аналогичная картина была также отмечена для аммонийного азота и органических веществ по ХПК. В последующем взвешенные частицы оседают, что приводит к заиливанию близлежащих нерестилищ.

Помимо непосредственного влияния на качество воды, дночерпание также может оказывать угнетающее влияние на биоту. Так, при высоком содержании взвеси в воде нарушается функционирование планктонных организмов (фито- и зоопланктона). Поскольку при проведении добычи нарушается рельеф дна, структура грунта, изымаются со своих биотопов организмы, это отрицательно влияет на состояние донной фауны. Было показано [Ивановское..., 2000; Немировская и др., 2008; Бреховских и др., 1998; Волкова, Бреховских, 2011], что дночерпательные работы влияют на структуру биоценозов, что, в целом, может способствовать ослаблению устойчивости экосистемы в зоне проведения работ. Для оценки негативного воздействия дночерпательных работ на экосистемы морских вод используются так называемые экологически толерантные пороги (ЭТП). Эти критерии качества морской воды по условиям содержания взвешенных веществ разработаны для открытых вод, шельфовой зоны, барьера река-море (приустьевые зоны) и мелководных районов (заливы, бухты, лиманы и др.) Наибольшую опасность для водных биоценозов в районе дночерпания представляют токсичные вещества, к которым относятся упомянутые выше тяжелые металлы, а также углеводороды нефтяного происхождения, пестициды и другие хлорорганические соединения [Windom, 1972; Волкова, Песочинский, 1981].

Углеводороды со средним весом обладают достаточно высокой растворимостью, поэтому при взмучивании богатых нефтепродуктами отложений может наблюдаться повышение их содержания в воде. В ряде случаев опасность уменьшается за счет того, что ряд этих веществ все же сорбируется на частицах грунта и, в конечном итоге, осаждается на дно [Патин, 2000; 2001]. Исследования придонных слоев морских вод показали, что высокое содержание взвесей, образующихся при нарушении донных отложений, может оказывать негативное влияние на зоопланктон. Подобное воздействие потенциально может наблюдаться и для подвижных форм макрозообентоса, однако они имеют возможность уходить из зоны образования мутьевого облака со значительным содержанием взвешенных веществ. Рыбы, а также закрепленные на донном субстрате беспозвоночные, более адаптированы к периодическим повышениям концентраций взвесей и другим литодинамическим явлениям. Как показывает анализ работ различных исследователей [Кокуричева и др., 1981], не существует, да и не может существовать общего критерия по мутности для различных видов гидробионтов, поскольку они по-разному реагируют на повышение содержания взвешенных веществ. По-видимому, наиболее чувствительной в этом смысле является икра рыб, хотя и здесь указываются различные предельные нормы. В меньшей степени подвержены влиянию повышенной мутности личинки и мальки рыб. Разный отклик водных организмов на увеличение мутности, а также разное содержание сорбированных на взвеси ЗВ сказывается на отсутствии биологически обоснованных ПДК для сброса взвесей в водоемы. Поэтому в данном вопросе обычно исходят из некоторых более общих представлений. Так, считается, что содержание взвешенных веществ в водоеме рыбохозяйственного назначения не должно превышать 25 мг/л. Для водоемов, где происходит нерест, мутность воды не должна превышать бытовую более чем на 0,75 мг/л [Лесников, 1975]. В то же время среднее природное содержание взвешенных веществ в воде весной составляет 30–70 мг/л, а летом и осенью колеблется в пределах от 3 до 12 мг/л, поэтому в этих условиях даже при локальном увеличении концентрации взвешенных веществ в несколько раз по сравнению с фоновой водоем в целом все еще будет оставаться в пределах реальных норм жизнедеятельности.

Следует отметить, что само по себе увеличение мутности воды не всегда может являться однозначным критерием антропогенного загрязнения. В прибрежных водах, например, увеличение этого показателя за счет ветрового взмучивания может быть весьма ощутимым и сопоставимым с мутностью за счет землечерпания.

В общем случае распространение взвешенных веществ в водном объекте зависит от проточности, гидрометеорологических условий, гранулометрического состава взвешенных веществ, условий осаждения взвеси и других гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических характеристик. Например, исследованиями, выполненными на речном участке р. Волги в ее нижнем течении (от Волгограда до Астрахани), доказано, что повышенная

концентрация взвешенных веществ четко улавливается на удалении в 5,0 км от места производства работ.

Дноуглубительные работы производятся в основном земснарядами, осуществляющими размыв грунтов и отвод пульпы в прибрежную зону, а в случае, если дно реки сформировано песком, то его могут грузить в баржи и транспортировать в порты с последующим использованием в строительной индустрии. Глубина всасываемого слоя при работе земснаряда зависит от его производительности и составляет от 0,2 до 5,0 м. В случае, если в зоне работы земснаряда происходит скат молоди рыб и особенно осетровых, которые катятся в придонном слое, то часть молоди может попасть в насос земснаряда и погибнуть. По данным исследований, выполненных на р. Волге на участке от Волгограда до Астрахани, при ежегодной работе 2–3 земснарядов общий ущерб только осетровому хозяйству Каспийского бассейна по промысловому возврату составил около 111 ц осетра и 6 ц севрюги.

Переработка берегов весьма существенно и негативно сказывается на качестве воды в водохранилищах. Вместе с обрушающимися массами грунта в воду попадают почвенные частицы, содержащие гумус и сорбированные на них загрязнения. Обрушение берегов увеличивает мутность воды, приводит к образованию мелководных участков, богатых органическим веществом. Это, в свою очередь, вызывает излишний прогрев воды и более интенсивное разложение органики, приводящее к снижению содержания растворенного кислорода, зарастанию и заболачиванию прибрежных участков.

Следует отметить, что переработка берегов – это неизбежный процесс, сопровождающий создание и эксплуатацию водохранилища. С течением времени он постепенно затухает и стабилизируется, когда новый уровень воды и берега приходят в новое равновесное состояние. Но на ряде Волжских водохранилищ ожидаемая стабилизация не прослеживается. Береговая эрозия происходит под воздействием как антропогенных, так и природных факторов, которые в настоящее время достаточно хорошо изучены и, так или иначе, поддаются объективному контролю. Современные методы расчета позволяют оценить величины многих таких воздействий и прогнозировать их на участках берега, которые подвержены размыву.

По некоторым оценкам [Дебольский, 2000], протяженность береговой линии, подверженной разрушению, составляет от 23,8% – у Ивановского до 64,3% – у Волгоградского водохранилища. В результате переработки берегов общие потери земель в плане составили более 40 тыс. га, в том числе 13,5 тыс. га на Куйбышевском водохранилище. На Угличском водохранилище, созданном более 75 лет назад, процесс переработки берегов на ряде участков общей протяженностью порядка 130 км этот идет по-прежнему активно. Фактическое отступление берега здесь уже превысило расчетные значения «конечной стадии» более чем в два раза и продолжает развиваться. В многоводные годы берег на этих участках отступает почти на 1 м. Таким образом, ежегодно в результате переработки берегов в водохранилище обрушается порядка 650 тыс. м³ грунта.

В целом из 16,2 тысяч км береговой полосы Волжско-Камского каскада более 1200 км берегов требуют немедленного осуществления защитных мероприятий. Особенно интенсивно разрушаются берега в нижних бьефах ГЭС, осуществляющих энергетические попуски. Катастрофическое положение сложилось, например, в нижнем бьефе Рыбинского гидроузла: из 40 км береговой полосы в пределах г. Рыбинска интенсивно разрушаются 13 км, что уже привело в аварийное состояние несколько многоэтажных жилых домов и промзданий, к деградации природных заказников и т.п.

К природным процессам переработки берегов следует отнести:

- *ветровые волны*, которые размывают дно и основания береговых откосов;
- *размыв склонов тальми и дождевыми водами*, что ведет к образованию промоин;
- *водонасыщение оползневых массивов* за счет инфильтрации атмосферных и грунтовых вод в связи с «утяжелением» массива и снижением механических характеристик, что приводит к активизации образования оползней;
- *фильтрационно-суффозионные процессы*, сопровождающиеся высачиванием грунтовых вод на поверхность откосов и выносом под действием гидродинамических сил минеральных частиц, что создает ослабленные зоны в береговом массиве и приводит к формированию поверхностей скольжения;
- *периодические процессы промерзания-оттаивания склонов*, которые приводят к нарушению структуры грунтов, переувлажнению промерзающей зоны, ухудшению механических характеристик, увеличению градиентов фильтрации в нижней части массива и фильтрационной суффозии.

Антропогенные процессы включают:

- *периодические высокоамплитудные колебания уровня воды*, которые связаны с *эксплуатацией гидротехнических сооружений* при пропуске половодий и дождевых паводков, выработке электроэнергии, шлюзовании и проч.;
- *стоковые течения*, которые наиболее активно действует в период предпаводковых сбросов воды из водохранилищ, а также течения (более слабые) в остальной период времени.
- *волны от движения судов*, которые, как и ветровые волны, не только размывают массив грунтов, но и могут при определенных условиях уносить продукты переработки на значительные расстояния;
- *подрезка склонов, строительство на бровках откосов, дноуглубительные работы*.

Интенсивность указанных выше процессов во многом определяется климатическими условиями, особенностями рельефа берега, механическим составом грунтов, местоположением разрушающегося участка относительно фарватера, морфометрическими особенностями водного объекта, общей антропогенной нагрузкой, наличием или отсутствием объективно-

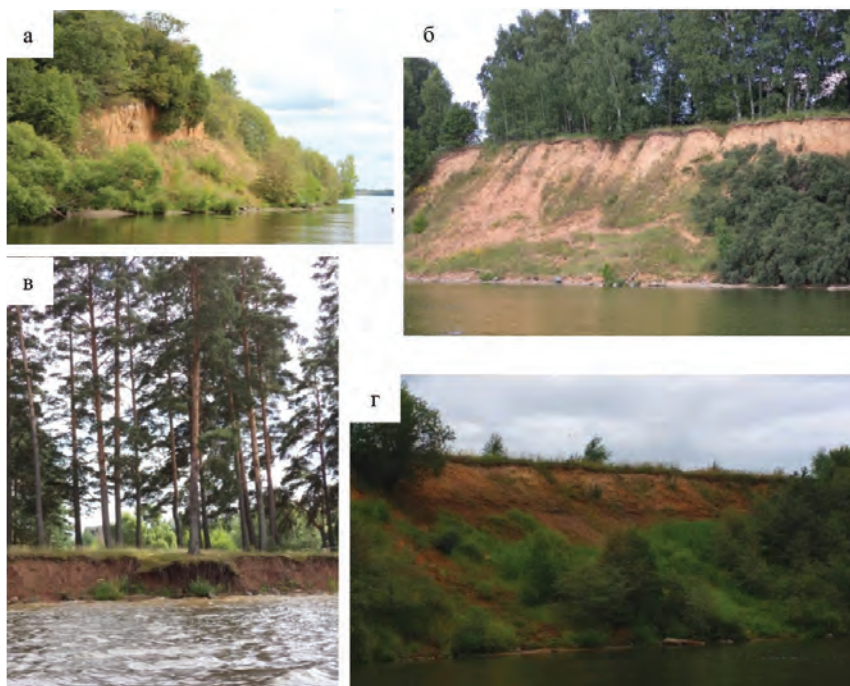


Рис. 1.9. Некоторые типы эрозии берегов на Угличском водохранилище на р. Волге
а – обрушение по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения;
б – промоины в результате сосредоточенного движения по склону атмосферных вод;
в – разрушения невысоких берегов ветровыми и судовыми волнами;
г – сползание водонасыщенного грунта

го мониторинга, а также полнотой и своевременностью принимаемых защитных мер.

Разрушение берегов, происходящее при сочетании многообразных воздействий, факторов и условий, в свою очередь, обуславливает многообразие форм разрушения берегов, описание которых на хорошо изученных примерах Угличского водохранилища изложено в работе (рис. 1.9) [Королев и др., 2017].

1.1.3.6 Коттеджно-дачная застройка и рекреационное водопользование (на примере Иваньковского водохранилища)

В последние десятилетия нарастает новый тип антропогенной нагрузки диффузного характера в береговой зоне водоемов, и особенно источников водоснабжения – коттеджно-дачная застройка. Причем самым освоенным и застроенным оказался непосредственно берег водоема – водоохранная зона – территория, примыкающая к акваториям рек, озер, водохранилищ и других поверхностных водных объектов, на которой устанавливается специальный

режим хозяйственной и иных видов деятельности с целью предотвращения загрязнения, заиления и истощения водных объектов, а также сохранения среды обитания объектов животного и растительного мира.

Иваньковское водохранилище является самым крупным водоемом, расположенным в 130 км от Москвы, имеет высокую рекреационную привлекательность и в начале 90-х гг. начался стихийный строительный стихийный бум практически по всему периметру водного зеркала [Гордин и др., 2006]. Также этот водоем имеет статус главного источника водоснабжения мегаполиса.

Обследование берегов водохранилища также показывает, что наиболее интенсивно осваивается территория, непосредственно примыкающая к водному объекту, а иногда – и земли водного фонда, которые подвержены затоплению при наполнении водохранилищ до проектных отметок. Следует отметить, что этому способствует слабое водоохранное законодательство РФ, которое на сегодняшний день не отвечает необходимым требованиям предотвращения загрязнения, заиления и истощения водных объектов, а также обеспечения гидроэкологической безопасности водопользования.

Освоение берега под частную застройку обусловило развитие традиционного неорганизованного туризма на ограниченных участках, примыкающих к акватории водоема. Неконтролируемая с нарастающей плотностью заселения коттеджно-дачная застройка и многочисленные туристические стоянки стали причиной новых возникших проблем экологического характера и резко усугубили качественное состояние водоема.

По официальной статистике Конаковского района, в пределах которого расположена акватория Иваньковского водохранилища, число дачных хозяйств за последние 20 лет увеличилось в 5 раз, занимаемая площадь составляет около 3000 га [Постановление ..., 2008].

Одна из первых и опасных проблем застройки – отсутствие элементарной канализационной системы, практически полностью хозяйственно-бытовой слив из построек (в том числе и бань) идет прямококом в водохранилище [Кирпичникова, Куприянова, 2003].

На берегу водоемов возникли многочисленные эллинги, лодочные стоянки, ремонтные мастерские. В этих местах могут наблюдаться проливы горюче-смазочных средств и резко возрастать концентрации нефтепродуктов. Интенсивное движение маломерного водного транспорта способствует размыву берегов и уничтожению естественных нерестилищ: начало интенсивного использования моторных лодок и водных мотоциклов наблюдается с начала мая во время нереста. Маломерный водный транспорт создает также дополнительный привнос в водоем тяжелых металлов и нефтепродуктов.

Условия масштабного строительства и постоянный рост цен на строительные материалы толкают владельцев участков на поиск дешевых строительных материалов. Это послужило причиной многочисленных случаев раскорчевки лесных массивов (в основном сосновых) и образованию в этих местах песчаных карьеров. Варварская добыча песка создала чрезвычайно

опасную экологическую ситуацию: исчезает лес, а песчаные карьеры молниеносно заполняются бытовыми отходами и превращаются в несанкционированные свалки. Последние, как правило, расположены по границам дачных кооперативов и коттеджных поселков. В местах свалок наблюдается скопление мышей, крыс, бродячих собак, кошек, птиц. Больные животные могут стать причиной вспышек различных эпидемий. Стихийно возникшие свалки из-за невозможности вывоза иногда ликвидируются путем сжигания, что служит причиной пожаров, особенно в засушливые годы.

Коттеджно-дачная застройка также сопровождается стихийной добычей камнещебеночного материала в руслах малых рек и временных боковых водотоков, что в свою очередь, приводит к деградации речной сети и исчезновению ручейковой сети. Это объясняется следующим образом: в период летней межени обнажаются твердые породы ложа притоков, которые используются в строительных целях. В результате происходит размыв русел и вынос взвешенных наносов в водоем. Таким образом, происходит заиление заливов, ухудшаются условия для нереста и нарушается внутренний водообмен.

По результатам геоэкологического мониторинга береговых зон, дешифрирования космических изображений проведено районирование водосборов боковых притоков Ивановского водохранилища по степени антропогенной нагрузки с выделением ненарушенных (ООПТ, леса, болота), слабо нарушенных (луга, сенокосы, пастбища), интенсивно нарушенных земель (пашни, селитебные территории), определены их площади и соответствующие модули выноса ЗВ [Кирпичникова, Курбатова, 2018].

Загрязнение водоемов от данного источника загрязнения носит импульсный характер и проявляется резким всплеском концентраций во время интенсивных дождей в летний период. Идентифицировать загрязнение водоема с поверхностно-дренажным стоком застроенной береговой зоны водохранилища является крайне сложной задачей. Специальный мониторинг с постворными наблюдениями и учащенным отбором проб воды на Ивановском водохранилище и в устьях боковых притоков в дождливое лето 1998 г. выявили резкое повышение концентраций многих гидрохимических показателей: хлоридов, сульфатов, аммонийного и нитратного азота, перманганатной окисляемости, БПК₅ [Кирпичникова, 2000]. Анализ проведенных исследований показал, что это связано непосредственно с выносом ЗВ с антропогенно-нагруженных береговых участков водохранилища. В мелководных заливах, подверженных воздействию смыва с удобряемых дачных участков, практически ежегодно наблюдается катастрофическое цветение сине-зеленых водорослей.

Рекреационное водопользование объединяет многие виды отдыха, различающиеся сезонами максимальных нагрузок, интенсивностью использования природных комплексов, путями, характером и объемами загрязнений, поступающих в реки и водоемы [Авакян и др., 1986].

Воздействие рекреации на водные объекты может осуществляться как прямым путем (утечка ГСМ и нефтепродуктов, купание и смыв загрязнений с тела человека, мойка автомашин, прикормка при рыбной ловле, образова-

ние пищевых отходов, хозяйственно-бытовых отходов и фекалий), так и косвенным (вторичное загрязнение при взмучивании донных отложений, поступление загрязнений с рекреационных территорий как с поверхностным, так и с подземным стоком и т.д.). По основным последствиям все виды воздействия можно объединить в две группы: виды отдыха с преимущественным использованием территории и виды отдыха с преимущественным использованием акватории [Григорьева и др., 2000; Ланцова и др., 2004]. К первой группе относятся организованный отдых в учреждениях отдыха, стационарный и неорганизованный пеший туризм, пикники, осмотр местности, отдых с использованием автотранспорта и т.п. Во вторую группу входят купание, отдых с использованием маломерного моторного флота, байдарок и яхт, рыболовство, подводное плавание, виндсерфинг и т.д. Например, неорганизованный отдых в силу своей стихийности и неравномерности пространственно-временного распределения нагрузок, а также вследствие отсутствия элементарного санитарно-инженерного обустройства оказывает более сильное влияние на качество воды, чем организованный.

Важно также отметить, что все виды отдыха у воды и на воде тесно взаимосвязаны и представляют собой смену рекреационных занятий в течение дня.

Исследования рекреационного использования водных объектов позволило дать характеристику видам рекреационной активности (табл. 1.4). Так, отдых с использованием подвесных лодочных моторов, отдых на парусных и весельных судах, рыболовство с лодки используют только акваторию водных объектов. Такие виды отдыха, как купание, водные виды спорта, подводная охота, охота на водоплавающую дичь, рыболовство (со льда и с берега) затрагивают как акваторию водоемов, так и их береговую зону.

Таблица 1.4

Характеристика видов рекреационной активности

Вид рекреации	Использование видов природных комплексов (А – аквальный; Г – территориальный)	Сезон водопользования	Вид загрязнений	
			При отсутствии обустройства зон отдыха и низкой культуре водо-пользования	При обустройстве зон отдыха и высокой культуре водо-пользования
Отдых с использованием судов с ПЛМ	А	весна–лето–осень	Б–Орг.–Х	Б–Х
Отдых на парусных и весельных судах	А	весна–лето–осень	Б–Орг.	Отсутств.
Рыболовство с лодки	А	весна–лето–осень	Б–Орг.	Орг.
Купание	А–Г	лето	Б–Орг.	Б
Водные виды спорта	А–Г	лето	Б–Орг.	Б

Подводная охота	А–Т	лето	Б–Орг.	Б
Охота на водоплавающую дичь	А–Т	осень	Б–Орг.	Отсутств.
Рыболовство со льда	А–Т	весна–осень–зима	Б–Орг.	Орг.
Рыболовство с берега	Т–А	весна–лето–осень	Б–Орг.	Орг.
Стационарный неорганизованный отдых (более 3-х дней)	Т	весна–лето–осень	Б–Орг.–Х	Х
Кратковременный неорганизованный отдых	Т	весна–лето–осень	Б–Орг.	Отсутств.

Многолетние натурные исследования на ряде водных объектов, расположенных в различных природно-климатических зонах и интенсивно используемых в рекреационных целях, позволили провести экспертную оценку воздействия отдельных видов рекреации на береговые и аквальные экосистемы водоемов и водотоков (табл. 1.5).

Таблица 1.5

Оценка воздействия видов отдыха на береговые и аквальные комплексы водных объектов [Ланцова и др., 2004]

Виды отдыха	Оценка воздействия (в баллах)			
	На береговые комплексы	На аквальные комплексы		Сумма баллов
		Гидробиоценозы	Качество воды	
Стационарный неорганизованный туризм**	3*	3	3	9
Отдых с использованием автотранспорта	3	1	2	6
Пеший туризм	3	1	1	5
Сбор грибов и ягод	3	0	0	3
Рыболовство с берега	1	1	1	3
Охота на водоплавающую дичь	1	2	1	4
Отдых с использованием маломерного моторного флота	2	3	3	8
Купание	1	2	2	5
Парусный спорт и виндсерфинг	0	1	1	2
Байдарочный спорт	0	1	1	2
Рыболовство с лодки	0	1	2	3
Рыболовство со льда	1	1	3	5

* Воздействие оценивалось по 4-балльной шкале: 3 балла – сильное воздействие; 2 балла – существенное; 1 балл – незначительное; 0 баллов – воздействие отсутствует.

** Стационарный туризм включает комплекс видов отдыха, но в данном случае рассматривается как вид, связанный с довольно длительным проживанием отдыхающих на ограниченной площади и с осуществлением ими хозяйственно-бытовой деятельности, отличающейся особым характером, интенсивностью и путями поступления загрязнений.



Рис. 1.10. Примеры негативного воздействия на водные объекты от рекреационного водопользования

Характер и виды воздействия также существенно отличаются при разных видах рекреационного природопользования (табл. 1.6).

Наиболее сильное воздействие на береговые и аквальные комплексы водохранилищ оказывают такие виды отдыха, как стационарный неорганизованный туризм, использование автотранспорта и маломерного моторного флота, рыбная ловля (рис. 1.10). Прямое и косвенное отрицательное воздействие видов рекреации на аквальные и береговые экосистемы обнаруживают сложные причинно-следственные связи (прямые и обратные). Нередко косвенное воздействие по своим последствиям превышает прямое воздействие.

Значительное рекреационное водопользование на Иваньковском водохранилище объясняется несколькими причинами, в первую очередь живописной природой и обширными водными пространствами как самого водохранилища, так и его притоков, хорошей транспортной доступностью и близостью к такому крупному мегаполису, как Москва, развитой инфраструктурой, особенно на правобережье, удовлетворительным в целом экологическим состоянием региона.

Таблица 1.6

Характер и виды воздействия рекреационного водопользования на водные объекты

Виды отдыха	На береговые комплексы	На аквальные комплексы	
		Гидробиоценозы	Качество воды
Стационарный туризм	Угнетение растительности и уничтожение деревьев, нарушение структуры и уплотнение почв, усиление плоскостного смыва	Угнетение высшей водной растительности, изменение видового и численности гидробионтов	Поступление нефтепродуктов, ЗВ от купания, мытья посуды, стирки, взмучивание донных отложений.
Пеше-водный туризм	Формирование локальных участков с вытоптанной травой, ослабленными деревьями, уплотненной почвой, органическими и иными отходами	Угнетение высшей водной растительности, изменение видового и численности гидробионтов	Поступление загрязнений в результате эрозионных процессов и с берега

Сбор грибов и ягод	Угнетение растительности, уплотнение почв,		Усиление плоскостного смыва, увеличение мутности и органики
С использованием автотранспорта	Нарушение травостоя, уплотнение почв, усиление эрозионных процессов на отдельных локациях и участках линейной протяженности	Угнетение высшей водной растительности, снижение самоочищающей способности	Поступление нефтепродуктов при мытье машин, взвешенных веществ в результате усиливающейся эрозии
Любительское рыболовство	Угнетение растительности, изменение структуры почв, образование свалок хоз. бытовых отходов на отдельных участках	Изменение численности гидробионтов, угнетение высшей водной растительности	Органическое и бактериальное загрязнение (органические остатки, прикорм рыбы, фекалии), увеличение мутности
Охота на водоплавающую дичь	Угнетение растительного покрова в местах троп, засидок и ночевок	Изменение состава зооценозов и численности гидробионтов	Поступление продуктов жизнедеятельности человека
Купание	Вытаптывание и загрязнение пляжной зоны, обрушение берегов	Уничтожение высшей водной растительности, изменение видового и количественного состава гидробионтов	Поступление органики и бактериальное загрязнение, увеличение мутности
С использованием маломерного флота	Обрушение и размыв берегов	Деградация нерестилищ, снижение видового состава гидробионтов	Поступление нефтепродуктов и канцерогенных веществ, взмучивание донных отложений

Из 183 км береговой зоны только 65% пригодны для рекреационного водопользования. Из них 29% пригодны для отдыха с использованием акватории и побережья, и 36% – для отдыха с использованием только акватории. Более 35% береговой линии водохранилища не пригодны для рекреационного использования вследствие антропогенного фактора и природных условий [Авакян и др., 1983]. Благоприятные для рекреационного использования участки испытывают довольно значительные антропогенные нагрузки, что приводит к развитию процессов рекреационной дигрессии береговых и аквальных комплексов водохранилища. На Ивановском водохранилище и его берегах широко развиты такие виды отдыха, как купание, любительское рыболовство (особенно в зимний период), отдых с использованием маломерных судов (моторные лодки, катера, яхты, байдарки) и автотранспорта, сбор грибов, ягод и растительного сырья (лечебные травы), лыжные и велосипедные прогулки и походы и т.д.

Купание как массовый вид отдыха вносит свой вклад в микробиологическое, биогенное и вторичное загрязнение водоема. Так, по [Соловьева, 1953] человек в течение 10-минутного купания вносит в воду свыше 3 млрд сапрофитных бактерий и от 100 тыс. до 20 млн кишечных палочек. Кроме микробного загрязнения, каждый купающийся вносит в во-

доем в среднем 75 мг общего фосфора и 695 мг общего азота [Шамардина, 1975].

Исходя из этого в летний сезон 2011 г. при нагрузке на городской пляж г. Конаково в 200 тыс. чел./дней привнос веществ в водохранилище составил: по азоту – 140 кг, по фосфору – 15 кг. Учитывая, что нагрузка на Ивановское водохранилище составляет порядка 2,5 млн чел.×дней, от купания в водохранилище может поступить до 1750 кг азота и 188 кг фосфора. В некоторых работах [Ланцова и др., 2005] показано, что максимальные поступления общего азота и фосфора составляют 900 и 100 кг соответственно, что соизмеримо с поступлением этих веществ в водохранилище с очищенными сточными водами г. Твери за 3 часа. Можно констатировать, что, хотя влияние купания на водоем кратковременно и локально, этот вид отдыха вносит дополнительную нагрузку по биогенным элементам, взвешенным веществам и бактериальному загрязнению и другим веществам, которая может быть весьма ощутима на отдельных локальных участках акватории водохранилищ (табл. 1.7) [Григорьева, Чекмарева, 2013].

Таблица 1.7

Показатели качества воды в районе пляжей (1) и в русловой зоне (2) Ивановского водохранилища в июле 2003 г.

Место отбора		Нагрузка на пляж, человек	Сульфаты, мг/дм ³	Нитритный азот, мг/дм ³	Общий фосфор, мг/дм ³
Б/о «Верхневолжская»	1	122	29,4	0,012	0,100
	2		17,6	0,008	0,066
П-т «Энергетик»	1	60	10,4	0,009	0,076
	2		15,4	0,006	0,059
Пляж г. Дубна	1	215	9,2	0,007	0,060
	2		1,0	0,006	0,050

Любительское рыболовство – один из видов рекреационного водопользования водохранилищ. Летом ловля рыбы чаще всего осуществляется с использованием маломерных судов (до 90%) [Авакян и др., 1983]. В зимний период за день Ивановское водохранилище могут посетить, по нашим расчетам, до 5 тыс. человек в будний день и 6–10 тыс. человек в выходной день. Количество рыболовов-любителей за зимний сезон может составить порядка 180000 человек, в летний период – не более 40000 человек. Исходя из результатов ряда исследований [Григорьева и др., 2000; Ланцова и др., 2004] можно заключить, что количество рыбаков-любителей на водохранилище остается на уровне 1980-х гг., а максимальное их количество наблюдалось в 1990-е гг. Отрицательное влияние рыбалки выражается в поступлении в водохранилища различных ЗВ (продукты жизнедеятельности, органическое вещество от прикорма рыбы, хозяйственно-бытовой мусор).

В результате рекреационного использования береговой зоны водохранилищ существенно изменяются почвенно-растительные условия береговых комплексов. Уплотнение и истирание верхнего горизонта почв, нарушение (и ли уничтожение) травяного покрова изменяют интенсивность и характер плоскостного смыва с территории и просачивание осадков и их прохождение по почвенному профилю, а следовательно, скорость и глубину поступления поверхностных загрязнений в почву [Рекреационное..., 1990]. В местах высокой плотности отдыхающих в береговой зоне Ивановского водохранилища в верхних горизонтах плотность почвы увеличивается с 2,4–2,5 г/см³ до 2,7–2,8 г/см³ [Григорьева и др., 2005].

Деградация почвенного покрова происходит также при строительных работах и эксплуатации сооружений рекреационного назначения (удаление почвенного покрова при строительстве дорог и различных сооружений для отдыха). В местах интенсивной рекреационной нагрузки увеличивается содержание ЗВ в почвах по сравнению с фоновыми участками (табл. 1.8).

Таблица 1.8

Содержание в почвах береговой зоны Ивановского водохранилища загрязняющих веществ (мг/кг), по данным И.З. Каманиной [Григорьева и др., 2005]

	Бенз(а)пирен	Zn	Pb	Cu	Hg	As
Ненарушенный лес	0,003–0,005	14–20	10–12	3,4–4,4	0,08–0,12	0,09–1,0
Лес с интенсивной нагрузкой в черте города	0,008–0,02	42–110	17–20	7,8–12,0	0,11–0,6	1,0–1,5
ПДК/ОДК	0,02	100	32	55	2,1	2

Приведенные негативные процессы, связанные с неконтролируемым освоением береговых зон, характерны для многих водоемов, расположенных вблизи крупных городов и мегаполисов. Бесконтрольность со стороны государственных органов, «умягчение» водоохранного законодательства и игнорирование возникших новых экологических проблем явно ухудшает состояние водоемов по многим показателям качества воды.

1.2 РАСЧЕТНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК ДИФFUЗНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

1.2.1 Методы оценки диффузного загрязнения по эмпирическим данным

Идентификация и ранжирование диффузных источников по уровню их воздействия на водные объекты являются необходимыми этапами в опре-

делении приоритетов в защите водных объектов от антропогенных воздействий.

Наиболее простой подход в оценке нагрузки от диффузных источников на водный объект основан на расчете баланса массовых потоков веществ: определяется разница между массой вещества в контрольном створе водного объекта (за определенный промежуток времени) и массой, определяемой во входном створе водного объекта и поступающей от всех контролируемых точечных источников. Этот подход не учитывает неизбежное изменение содержаний компонентов на этом участке за счет процессов самоочищения, осаждения, а также неточности информации о точечных загрязнениях.

Ранжирование обычно проводят за представительные периоды времени. При этом для оценки поступающих в водные объекты объемов ЗВ используют укрупненные и/или осредненные удельные показатели сбросов отдельных секторов промышленности, сельского, водного и лесного хозяйства, теплоэнергетики и др.

Впервые данные по ранжированию вклада источников диффузного загрязнения в общее загрязнение были получены в США в ходе реализации крупномасштабных исследований в 1970–80-х гг. [Results, 1983]. Был построен ряд приоритетов:

- сельское хозяйство,
- сток с городских территорий/ливневая канализация,
- добыча полезных ископаемых,
- промышленные неточечные источники,
- локальные источники загрязнения – свалки, шламохранилища и пр.,
- лесное хозяйство.

Сельскохозяйственное производство является главным источником загрязнений диффузного происхождения (ИДЗ) для бассейнов многих рек и озер. При этом доля нагрузки из ИДЗ, поступившей с территорий с преобладающим сельскохозяйственным видом землепользования, от суммарной нагрузки всех ИДЗ составила более половины суммарной нагрузки [Results, 1983]. Наиболее значимыми ЗВ являются взвешенные и биогенные вещества, а также пестициды. Сельское хозяйство является также основной причиной загрязнения грунтовых вод США.

Как Информационные источники апробированных методик опубликованы стали монографии [Novotny, 2003; Михайлов, 2000].

Ранжирование источников загрязнения является базовой основой при разработке бассейновых водоохраных программ, а также при формировании планов регионального развития.

В соответствии с указанным рядом приоритетности представлены настоящие методические рекомендации, использованные для расчета объема загрязнений от диффузных источников пилотных водосборов, которые приведены в Главах 2 и 4.

1.2.1.1 Методы оценки диффузного стока биогенных веществ с сельскохозяйственных территорий

Объекты сельскохозяйственного производства, включающие различные угодья и производственные объекты (животноводческие фермы и навозохранилища, удобряемые поля, склады минеральных удобрений) представляют собой источник повышенной биогенной нагрузки. Применение минеральных и органических удобрений, а также поверхностный сток с застроенных территорий сельских населенных пунктов, являются основными антропогенными источниками диффузных загрязнений биогенными веществами наряду с источниками природного происхождения (леса, луга, залежи и пр.). Некоторое количество биогенов поступает с атмосферными осадками, однако эта нагрузка на 2–3 порядка меньше валового содержания азота и фосфора в пахотном слое почвы и обычно не учитывается при оценке диффузного стока.

К характерным ЗВ диффузного стока с сельскохозяйственных угодий относятся: соединения азотной группы (в первую очередь нитратный и аммонийный азот), калий, фосфор, растворенные органические вещества, сульфаты, хлориды, а также средства повышения урожайности (некоторые микроэлементы – медь, цинк), средства защиты растений (от вредителей, болезней, сорняков и др.).

Причиной вымывания веществ является поступление воды на почву при выпадении дождей, таянии снега и орошении. При этом формируются поверхностный и подземный сток, соотношение которых зависит от ряда факторов: климатических, почвенных, гидрологических, гидрогеологических, агрохимических, агротехнических, биологических и гидромелиоративных.

Первый метод расчета выноса биогенных веществ с водосбора выполнялся на основе отечественного и зарубежного опыта моделирования стока и выноса химических веществ с водосборных территорий [Кондратьев, 2007; Кондратьев, Шмакова, 2019; Behrendt, Dannowski, 2007; Брюханов и др., 2016; Брюханов, 2018г], а также рекомендаций ХЕЛКОМ по оценке нагрузки на водные объекты бассейна Балтийского моря [Guidelines..., 2005].

Методика расчета выноса азота и фосфора с сельскохозяйственных территорий в первичные звенья гидрографической сети учитывает следующие основные факторы:

1. Содержание азота и фосфора в почве, доля их выноса от общего содержания в почве.
2. Количество азота и фосфора в составе минеральных удобрений и коэффициент их эмиссии.
3. Количество азота и фосфора в составе органических удобрений и коэффициент их эмиссии.



Рис. 1.11. Блок-схема расчета формирования суммарного выноса биогенных веществ с водосбора

4. Удаленность контура сельскохозяйственных угодий от водных объектов.
5. Тип почв по происхождению.
6. Тип почв по механическому составу.
7. Структура сельхозугодий (отношение площадей пашни и многолетних трав, лугов, пастбищ, залежи).
8. Использование наилучших доступных технологий (НДТ) и наилучших практик ведения сельскохозяйственного производства.

Алгоритм расчета суммарного выноса биогенных веществ с водосбора и формирования биогенной нагрузки на водоем представлен на *рис. 1.11*.

Здесь не учитывается вынос калия, а также разные формы азота и фосфора. Основное используемое уравнение:

$$L_{agr} = \sum_i A_i (M_{soil i} K_1 + (\alpha_1 M_{mini} + \alpha_2 M_{org i}) K_6) K_2 K_3 K_4 K_5 / 1000 \quad (1.1)$$

где L_{agr} – диффузная нагрузка, сформированная на полях сельхозпредприятий и поступившая в ближайших водоток, (т/год);

$M_{soil i}$, M_{mini} и $M_{org i}$ – содержание биогенного вещества в пахотном слое почвы, а также дозы внесения минеральных и органических удобрений на поля i -го сельхозпредприятия (кг/га);

A_i – площадь угодий i -го сельхозпредприятия (га);

α_1 и α_2 – коэффициенты попадания биогенных веществ в сток с учетом усвоения минеральных (α_1) и органических (α_2) удобрений сельхозкультурами;

K_1 – коэффициент, характеризующий вынос биогенных веществ из пахотного слоя почв;

K_2 – коэффициент удаленности контура сельскохозяйственных угодий от гидрографической сети;

K_3 – коэффициент, характеризующий тип почв (по происхождению);

K_4 – коэффициент, характеризующий механический состав почв;

K_5 – коэффициент, учитывающий тип сельхозпредприятия и структуру сельхозугодий;

K_6 – коэффициент соответствия технологии применения органических и минеральных удобрений наилучшим доступным технологиям.

Все коэффициенты безразмерные.

Содержание азота и фосфора в пахотном слое почв (20–25 см) M_{soil} определяется по справочным и материалам и литературным данным [Единый..., 2019; Почвоведение, 1972; Гинзбург, 1981]. Так, для хорошо окультуренной серой лесной почвы значение M_{soil} составляет в среднем 6 тN/га и 4 тP/га. Содержание питательных веществ может быть задано по результатам натурного обследования территории.

При определении масс азота и фосфора, поступающих с минеральными и органическими удобрениями (M_{min} , M_{org}), используются официальные данные статистики по агропромышленному комплексу, данные конкретных сельхозпредприятий, нормативные и справочные материалы. Ниже представлены способы задания значений коэффициентов уравнения (1.1).

Коэффициенты попадания биогенных веществ в сток с учетом усвоения минеральных (α_1) и органических (α_2) удобрений сельхозкультурами. Рекомендуемые значения коэффициентов α_1 и α_2 представлены в табл. 1.9 с использованием данных [Справочник..., 1976; Amberger, Schweiger, 1973; Barrows, Kilmer, 1963].

Таблица 1.9

Коэффициенты попадания биогенных веществ в сток с учетом усвоения минеральных (α_1) и органических (α_2) удобрений сельскохозяйственными культурами

Тип удобрений	Азот	Фосфор
Минеральные удобрения	$\alpha_1 = 0,3$	$\alpha_1 = 0,03$
Органические удобрения	$\alpha_2 = 0,1$	$\alpha_2 = 0,02$

Коэффициент K_1 , характеризующий вынос биогенных веществ из пахотного слоя почв определяет долю биогенных веществ, содержащихся в почве, которые могут перейти в сток с единичного участка сельхозугодий в месте непосредственного соприкосновения стока и почвы. Зависит от условий увлажнения и содержания азота и фосфора в почве сельскохозяй-

ственных угодий. Значения коэффициента могут быть получены по итогам выполнения обследования конкретных территорий, а в случае отсутствия данных значения могут быть рассчитаны на основе справочных данных для характерных типов почв и условий увлажнения.

В табл. 1.10 приведены средние значения коэффициентов вымывания для разных типов почв, определенные на основе данных, приведенных в литературе и агрономических справочниках [Справочник..., 1976; Amberger., Schweiger, 1973; Barrows, Kilmer, 1963].

Таблица 1.10

Ориентировочные значения коэффициента вымывания для разных типов почв в зависимости от водного режима

Тип почв	Водный режим	Азот	Фосфор
Серые лесные почвы	Периодически промывной	0,0086	0,0011
Черноземы	Периодически промывной	0,0129	0,0014
Дерново-подзолистые	Периодически промывной	0,0052	0,00029
Дерново-подзолистые	Промывной	0,030	0,008
Торфяные	Промывной	0,036	0,011
Карбонатные	Промывной	0,024	0,008

Коэффициент K_2 , учитывающий удаленность сельскохозяйственных угодий от водных объектов. Для расчета значения коэффициента обычно определяется средневзвешенное значение удаленности поля на основе пространственного анализа в среде ГИС с использованием инструментов построения буферных зон вдоль основных водотоков. Значения K_2 приняты на основании обобщения данных, полученных из литературы и справочных материалов [Johnes, Heathwaite, 1997; Методические указания..., 1988]. Принято допущение, что величина выноса биогенных веществ с сельхозугодий за пределами зоны в 5000 м незначительна (значение коэффициента принято равным 0).

Коэффициент K_3 , учитывающий происхождение почв. Значения K_3 приняты на основе анализа литературных данных [Гинзбург, 1981; Справочник..., 1976;] и используется в качестве дополнительного коэффициента, позволяющего учесть распространенность различных типов почв в границах рассматриваемого водосборного бассейна.

Коэффициент K_4 , учитывающий механический состав почв. В научной литературе и справочных материалах указывается, что вымывание азота на легких почвах в 1,8 раза превышает вымывание из тяжелых почв, по фосфору превышение в 2 раза [Почвоведение, 1972; Гинзбург, 1981].

Коэффициент K_5 , учитывающий тип сельхозпредприятия и структуру сельхозугодий, отражает характеристики промываемости пахотного горизонта почвы, а именно интенсивность выноса питательных веществ в зави-

симости от выращиваемых культур и технологий почвообработки. Для оценки поступления N и P в первичные звенья гидрографической сети все площади, задействованные для выращивания сельскохозяйственных культур, могут быть подразделены на 4 основные категории в зависимости от технологий обработки почвы [Справочник..., 1976]:

1 категория – пропашные, в том числе картофель, овощи (без высадков), капуста, свекла столовая, морковь столовая, корнеплодные кормовые культуры (кормовая свекла, брюква, турнепс и другие) и пр.;

2 категория – зерновые и зернобобовые культуры, однолетние травы;

3 категория – кормовые культуры, в том числе многолетние кормовые культуры и т.п. (за исключением однолетних трав);

4 категория – залежные земли (не используемые в севообороте более 1 года, а также пар).

Максимальный вынос азота и фосфора наблюдается для земель, находящихся под пропашными культурами. Наименьший вынос азота и фосфора присущ сельскохозяйственным площадям залежных земель и занятых многолетними травами. Ориентировочные значения коэффициента K_5 приняты на основе экспертных оценок специалистов Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП). Значения коэффициентов K_2 , K_3 , K_4 и K_5 представлены в табл. 1.11.

Таблица 1.11
Коэффициенты K_2 , K_3 , K_4 и K_5

Параметр	Азот	Фосфор
Коэффициент K_2		
от 50 до 500	0,6	0,6
от 500 до 2000	0,2	0,2
от 2000 до 5000	0,1	0,2
Коэффициент K_3		
Серые лесные почвы	1,0	1,00
Черноземы	1,5	1,25
Дерново-подзолистые почвы	0,6	0,26
Коэффициент K_4		
Тяжелые глинистые и суглинистые почвы	1,0	1,0
Лёгкие супесчаные и песчаные почвы	1,8	2,0
Коэффициент K_5		
1 категория	1,00	0,85
2 категория	0,88	0,76
3 категория	0,46	0,37
4 категория	0,40	0,20

Коэффициент соответствия технологии применения органических и минеральных удобрений наилучшим доступным технологиям K_6 . Внедрение НДТ применения удобрений предусматривает оценку качества почвы, потребности выращиваемых культур и расчет необходимых доз удобрений. Поэтому коэффициент K_6 отражает комплексное воздействие на снижение выноса азота и фосфора наилучшего сочетания показателей экологической безопасности и экономической эффективности сельскохозяйственного производства. Значения коэффициента K_6 , полученные специалистами ИАЭП по результатам анализа отечественного и зарубежного опыта внедрения НДТ, представлены в табл. 1.12.

Таблица 1.12

Коэффициент K_6 , отражающий уровень технологий применения удобрений

Вид удобрения	Азот		Фосфор	
	без НДТ	с НДТ	без НДТ	с НДТ
Твердые органические	1	0,25	1	0,1
Жидкие органические	1	0,25	1	0,1

Указанные значения коэффициента K_6 были получены в результате комплексных исследований с обработкой полученных результатов с использованием математических методов [Брюханов, 2018а, 2018б, 2018в; ; Subbotin, 2018; Briukhanov, 2018а, 2018б; Briukhanov, 2017а, 2017б; Briukhanov, 2016; Субботин, 2018].

При определении значений коэффициентов учитывалось влияние используемых машинных технологий и регламентов их соблюдения на вынос азота и фосфора, содержащихся в органических и минеральных удобрениях. Ниже представлены НДТ, которые учитывались при обосновании значений коэффициента K_6 :

- ленточное внесение; поверхностная или внутривпочвенная инъекция при внесении жидкого навоза на почву;
- заделка навоза, внесенного на поверхность почвы, путем вспашки или использования почвообрабатывающих машин, таких как культиваторы или дисковые бороны, в зависимости от типа почвы и условий. Навоз полностью смешивается с почвой или зарывается;
- соблюдение достаточного расстояния между полями, куда вносится навоз (с оставлением необработанной полосы земли);
- избегание внесения навоза при условиях, когда риск образования стоков представляется значительным (промерзание почвы, интенсивное снеготаяние с дополнительными атмосферными осадками);
- внесение рациональных норм навоза с учетом характеристики почвы (например, содержание питательных веществ), погодных условий.

Технологии, технические средства и методы организации работ, обоснованные ИАЭП при разработке методики оценки влияния НДТ на сельхозпроизводство, включены в Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета [РД–АПК 1.10.15.02–17], а также в российских информационно-технологических справочниках ИТС НДТ–41 и ИТС НДТ–42 по интенсивному разведению свиней и сельскохозяйственной птицы, утвержденных приказами Росстандарта № 2819 от 13.12.17 и № 2667 от 29.11.17.

Допущения и ограничения использования рассмотренной методики. Принятые допущения и существующие ограничения использования методики ИАЭП сводятся к следующему:

- значение выноса азота и фосфора, определенное на основе указанной методики, характерно для условий средней водности;
- переход от значений выноса для всего муниципального района к той его части, которая попадает в границы водосборного бассейна, выполняется с учетом допущения о равномерности распределения сельскохозяйственной деятельности в границах района;
- в расчетах не учитывается возможная естественная изменчивость коэффициентов в пределах рассматриваемых однородных площадей;
- потенциал снижения нагрузки при внедрении НДТ принят одинаковым для всех категорий сельскохозяйственных предприятий.

Кроме того, в рамках разработанной методики не учитывается несоблюдение сельскохозяйственными предприятиями природоохранного законодательства. Принято допущение о том, что все сельхозпроизводители выполняют требования законодательства в части хранения, обработки и внесения навоза и помета.

С использованием подробных карт в среде ГИС оцениваются доли площадей угодий с однородным сельскохозяйственным использованием и структурой для расчета значений коэффициентов миграции биогенных веществ K_2 – K_5 .

Значения коэффициентов K_2 , K_3 , K_4 неизменны во времени (если принять допущение о том, что расположение сельскохозяйственных угодий не поддается существенным изменениям), однако зависят от рассматриваемой территории и, следовательно, различны для отдельных частей и всего бассейна. Величина коэффициента K_5 , напротив, зависит от периода, но неизменна в пространственном отношении – не зависит от того, рассматривается ли вся территория района или только его часть (учет вхождения района производится на заключительной стадии расчета диффузной нагрузки биогенных веществ).

Результаты расчета диффузной нагрузки биогенных веществ на водосборах малых рек бассейна Куйбышевского водохранилища приведены в табл. 1.13.

Таблица 1.13

Результаты расчета фактических годовых модулей стока биогенных веществ от сельскохозяйственного производства на исследованных водосборах рек бассейна Куйбышевского водохранилища

Речной бассейн	Период	Удельный вынос азота, кг/га	Удельный вынос фосфора, кг/га
Казанка	2008	8,19	0,54
	2017	7,83	0,53
Мёша	2008	7,40	0,49
	2017	6,95	0,47
Б.Черемшан	2008	13,50	0,78
	2017	12,81	0,73
Свияга	2008	14,98	0,81
	2017	14,33	0,78

Второй метод оценки среднемноголетнего стока биогенных элементов (БЭ) с водосборов – ландшафтно-гидрологический метод (ЛГМ), разработан в Институте географии РАН [Ясинский, Гуров, 2006; Ясинский и др., 2007; Ясинский и др., 2019а; Ясинский и др., 2019б; Ясинский и др., 2020]. Основу ЛГМ составляет оценка гидролого-геохимических процессов, определяющих диффузный сток ЗВ с естественных и антропогенно-преобразованных участков водосбора с использованием различных эмпирических зависимостей, полученных для Европейской территории РФ [Кондратьев, Шмакова, 2019; Коронкевич, 1990; Бобровицкая, 1977; Голосов, 2003].

Помимо поверхностного склонового стока и эрозии почвы, формирующихся весной в период таяния снежного покрова, в методе учитывался также перенос БЭ с подземным и подповерхностным («верховодкой») стоком, влияние прямой антропогенной нагрузки и удержание биогенных элементов водосбором при их транспортировке потоками воды и взвешенных наносов (рис. 1.12).

Сток БЭ с естественных и антропогенно-преобразованных участков водосбора описывается через характерные для исследуемых угодий концентрации веществ в потоках воды со склонов, в грунтовых водах, в руслах рек:

$$S_{ij} = K_j C_{ij} Y_{ij} F_i, \quad (1.2)$$

i – вид угодья (лес; сельскохозяйственные земли, распаханнные и не распаханнные с осени; сельские населенные пункты (неканализованная застройка); территории со слабопроницаемыми поверхностями, в том числе зоны многоэтажной застройки, промплощадки и пр.), овражно-балочная сеть;

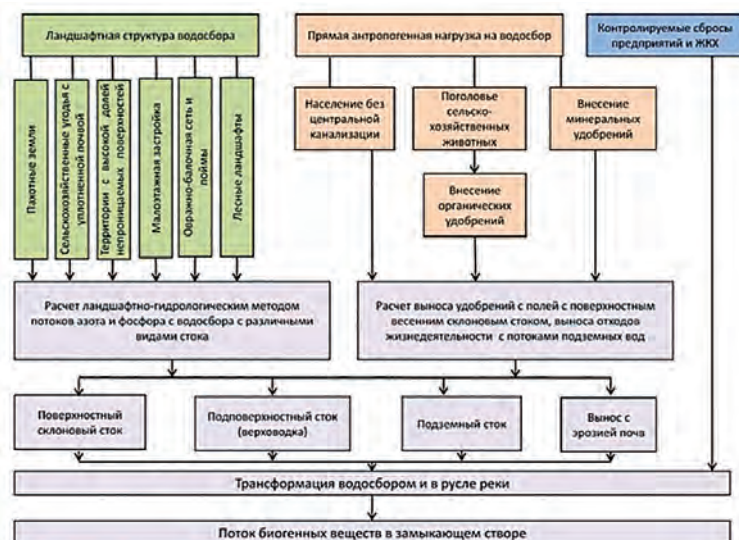


Рис. 1.12. Блок-схема ландшафтно-гидрологического метода Института географии РАН расчета стока БЭ с водосбора

j – вид стока: а) жидкий: 1 – поверхностный склоновый, 2 – подповерхностный (верховодка), 3 – подземный; б) 4 – сток наносов (продуктов эрозии); Y – сток (слой жидкого стока или модуль стока наносов); S – перенос БЭ с j -м видом стока с i -го угодья; F – площадь угодья на водосборе; K_j – коэффициент для согласования размерностей; C – концентрация БЭ в стоке. Лесные участки, как и другие выделенные угодья, также являются источниками выноса биогенных элементов [Хрисанов, 1993].

Слои поверхностного склонового стока с разных угодий оценивались по аппроксимациям [Ясинский и др., 2007] эмпирическим зависимостям [Коронкевич, 1990]:

$$Y_{il} = f(Y_{rr}), \quad (1.3)$$

где: Y_{il} – слой поверхностного склонового стока с i -го угодья; Y_{rr} – слой стока половодья, определявшийся по гидрографам стока.

Сток наносов рассчитывался по уравнению [Голосов, 2003]:

$$Y_{i4} = f(Y_{il}), \quad (1.4)$$

Слой подземного стока Y_{i3} в половодье определялся расчленением гидрографов стока рек пилотных водосборов, предполагался одинаковым для всех угодий.

Подповерхностный сток (верховодка) оценивался по разнице речного стока за половодье Y_{rr} , поверхностного склонового стока за половодье и подземного стока за половодье:

$$Y_{i2} = Y_{rr} - (Y_{il} + Y_{i3}) \quad (1.5)$$

Поверхностный склоновый сток в половодье для всего водосбора рассчитывался как средневзвешенный поверхностный склоновый сток с разных углов с учетом ландшафтной структуры водосбора. Если расчетный объем стока верховодки со всего водосбора превышал расчетный объем верховодки с лесных участков, предполагалось, что оставшаяся часть равномерно (в слоях стока) стекает с селитебных территорий и с полевых участков. Если же расчетный объем стока верховодки со всего водосбора был меньше расчетного объема верховодки с леса, объем стока верховодки с леса уменьшался до расчетного объема стока верховодки со всего водосбора. В этом случае предполагалось, что верховодка на других участках не образовывалась.

Слой подземного стока в период вне половодья оценивался по разнице объемов годового гидрографа речного стока и стока за половодье.

В расчетной методике прямая антропогенная нагрузка, формирующая диффузные источники БЭ на водосборе, определяется количеством населения, живущего в неканализованных населенных пунктах, и поступлением на пашню минеральных и органических удобрений. Масса вносимых на поля пилотных водосборов минеральных удобрений оценивается по данным Государственной статистики [Всероссийская..., 2016]. При определении количества азота и фосфора, внесенного с минеральными удобрениями, использовалось соотношение N:P:K 22:11:11, характерное для Восточно-Европейской равнины [Брюханов, Уваров, 2016, Кондратьев и др., 2018]. Величина вносимых на пашню органических удобрений рассчитывается как доля от массы образующихся на пилотных водосборах отходов жизнедеятельности сельскохозяйственных животных. Количество азота и фосфора, поступающего в год от одного сельскохозяйственного животного, оценивается по [Брюханов и др., 2016; Кондратьев и др., 2018]. В методике поступившие с минеральными и органическими удобрениями на пашни пилотных водосборов и неусвоенные растениями БЭ выносятся поверхностным склоновым стоком в период половодья:

$$L_{agr} = (\alpha_1 M_{min} + \alpha_2 M_{org}) \quad (1.6)$$

где: L_{agr} – неусвоенная сельскохозяйственными культурами масса БЭ, выносимая с весенним поверхностным склоновым стоком; M_{min} и M_{org} – массы внесенных на поля минеральных и органических удобрений; α_1 – коэффи-

циент, учитывающий усвоение минеральных удобрений сельскохозяйственными культурами, дифференцированно для азота и для фосфора; α_2 – коэффициент, учитывающий усвоение органических удобрений сельскохозяйственными культурами, дифференцированно для азота и для фосфора) [Кондратьев и др., 2018].

При расчетах среднего многолетнего стока БЭ с пахотных земель L_{agr} суммируется с фоновыми региональными значениями потоков БЭ, задающимися по [Кондратьев, Шмакова, 2019; Кондратьев и др., 2018].

Количество азота и фосфора, поступающего в год от одного человека на территории сельского поселения задается по данным [Guidelines..., 2005]: 4,4 кг общего азота и 0,9 кг общего фосфора. Эти значения близки к данным, приведенным в СНиП 2.04.03–85: 4,7 кг/год общего азота и 0,91 кг/год общего фосфора от одного сельского жителя [Канализация, 2010].

Значительная часть БЭ, поступивших на водосбор от различных источников, не достигает замыкающих створов рек, так как удерживается водосбором и различными звеньями гидрографической сети. Материалы эрозии осаждаются в местах уменьшения скоростей потоков, растворенные вещества при взаимодействии с подстилающей поверхностью могут поглощаться почвой, осаждаются при испарении и пр. В результате итоговая нагрузка в замыкающем створе водосбора составляет лишь часть от сформировавшихся на водосборе потоков БЭ. В условиях Восточно-Европейской равнины главный фактор поглощения водосбором биогенных элементов – это время контакта потока веществ с подстилающей поверхностью. Оно приближенно может быть оценено как функция площади водосбора. Чем больше площадь водосбора, тем больше время контакта и, соответственно, тем больше удержание водосбором веществ. Кроме того, необходимо учитывать объем стока воды с водосбора – чем больше сток, тем выше скорость горизонтальных потоков воды на водосборе и меньше потери на фильтрацию и испарение. Учитывается уменьшение водосбором как твердого, так и растворенного стока биогенных элементов [Кондратьев, Шмакова, 2019; Голосов, 2003].

Для оценки притока БЭ со стоком наносов M_n к замыкающему створу водосбора используется уравнение:

$$M_n = D_n \sum_{i=1}^6 S_{i4} \quad (1.7)$$

где: D_n – коэффициент доставки наносов. Величина D_n рассчитывается как функция площади водосбора [Голосов, 2003]:

$$D_n = cF^d \quad (1.8)$$

где: c и d – эмпирические параметры.

Приток БЭ с жидким стоком к замыкающему створу водосбора $M_{ж.с.}$ рассчитывается по уравнению:

$$M_{ж.с.} = D_{ж.с.} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^3 S_{ij} \quad (1.9)$$

где: $D_{ж.с.}$ – коэффициент трансформации потока растворенных биогенных элементов на пути от первичных элементов гидрографической сети до устья реки [Кондратьев и др., 2018]:

$$D_{ж.с.} = \frac{1}{1 + aq^b} \quad (1.10)$$

где: q – модуль стока, л/с/км² (зависящий от объема стока воды и площади водосбора); a и b – безразмерные эмпирические параметры [Кондратьев и др., 2018].

Суммарный поток БЭ в замыкающем створе водосбора B оценивается как:

$$B = M_{п.} + M_{ж.с.} + 2ТП \quad (1.11)$$

где $2ТП$ – поступление биогенных веществ от точечных источников загрязнения на водосборе.

Применение метода ЛГМ для количественной оценки диффузного загрязнения БЭ Чебоксарского водохранилища см. в разд. 2.2.4.2.

Третий метод оценки диффузного стока с сельскохозяйственных территорий крупных водосборов – метод материального баланса, в сравнении с двумя предыдущими является наиболее упрощенным. Основные параметры баланса определяются по данным государственной статистической отчетности и агрохимической службы, а также по эмпирическим данным, характерным для конкретной территории. Проводится оценка всех стадий использования массы вносимых на поля веществ, связанной с их транспортировкой, внесением, потреблением растениями, миграцией в водоносных слоях и по склону. Основные расчетные параметры представлены на рис. 1.13.

Основанием для набора параметров являются статистические данные областной Агрохимической службы, в пределах которой расположен конкретный водосбор. Итоговые оценки по интенсивности выноса биогенных элементов по принципу административного деления водосбора могут быть

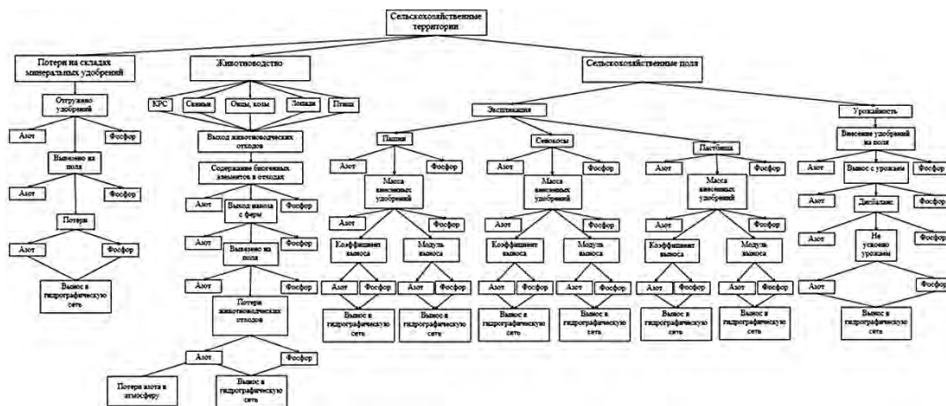


Рис. 1.13. Блок-схема основных расчетных параметров выноса биогенных элементов с сельскохозяйственных территорий в гидрографическую сеть по методу материального баланса

основанием для районирования территории и предложений дальнейших эффективных водоохраных рекомендаций. Кроме традиционных итоговых расчетов выноса БЭ в гидрографическую сеть балансовый подход позволяет при четкой статистической отчетности учесть стадии потерь на складах минеральных удобрений и навозохранилищах.

Этап 1. Расчет потерь азота и фосфора с площадок складирования минеральных и органических удобрений.

Потери минеральных удобрений.

1. По статистической информации для каждого административного района водосбора определяется масса отгруженных удобрений по азоту и фосфору (N, P) на сельскохозяйственные угодья и масса вывезенных удобрений на с/х поля.
2. Выявляются потери удобрений (N_п) по азоту и фосфору (N, P), как разность между массой отгруженных на площадки складирования и внесенных удобрений по азоту и фосфору (N, P):

$$N_{п} = N_1 - N_2, \tag{1.12}$$

где:

N₁ – масса азота азот по данным «внесенные удобрения»;

N₂ – масса азота по данным «вывезено на поля».

Аналогично проводится оценка по фосфору:

$$P_{п} = P_1 - P_2, \tag{1.13}$$

где:

P₁ – масса фосфора по данным «внесенные удобрения»;

P₂ – масса фосфора по данным «вывезено на поля».

Потери органических удобрений из навозохранилищ.

1. По статистической информации для каждого административного района водосбора определяется поголовье крупного рогатого скота (КРС), свиней, овец, коз, лошадей, птиц.

2. В соответствии с [Анспок и др., 1981; РД–АПК 1.10.15.02–17] рассчитывается выход навоза по каждой группе животноводства (*табл. 1.14*).

Таблица 1.14

Количество навоза, получаемого в год от 1 животного при содержании на соломенной подстилке, т [Анспок и др., 1981]

Продолжительность стойлового периода	Крупный рогатый скот	Лошади	Свиньи	Овцы
От 220 до 240 дней	9 – 10	7 – 8	1,7 – 2,2	0,9 – 1,0
От 200 до 220 дней	8 – 9	5 – 6	1,5 – 1,7	0,8 – 0,9
От 180 до 200 дней	6 – 8	4 – 5	1,0 – 1,5	0,6 – 0,7
Менее 180 дней	4 – 5	3 – 4	0,8 – 1,0	0,4 – 0,5

3. В соответствии с [Рекомендации по обеспечению..., 2015] определяется содержание и выход азота (N) и фосфора (P) с отходами по каждому типу животноводства и рассчитывается итоговый показатель «выход азота и фосфора с отходами животноводства».

4. По статистической информации для каждого административного района водосбора определяется показатель «вывезено на поля» азота и фосфора с органическими удобрениями (N, P).

5. Определяются потери азота и фосфора (N, P) с площадок складирования и навозохранилищ как разница между показателями «выход с ферм» и «вывезено на поля».

$$N_{пж} = N_{1ж} - N_{2ж}, \quad (1.14)$$

где:

$N_{1ж}$ – масса азота азот по данным «выход с ферм»;

$N_{2ж}$ – масса азота по данным «вывезено на поля».

Аналогично проводится оценка по фосфору:

$$P_{пж} = P_{1ж} - P_{2ж}, \quad (1.15)$$

где:

$P_{1ж}$ – масса фосфора по данным «выход с ферм»;

$P_{2ж}$ – масса фосфора по данным «вывезено на поля».

6. Рассчитывается отдувка аммиака с площадок складирования: 15% с площадок складирования минеральных удобрений ($N_{ом}$) и 30% для навозохранилищ ($N_{ож}$).

7. Рассчитывается вынос азота в гидрографическую сеть ($N_{гж}$) с площадок складирования животноводческих отходов как разница между величинами «потери» и «отдувка аммиака»:

$$N_{гж} = N_{пж} - N_{ож}, \quad (1.16)$$

где:

$N_{пж}$ – потери азота с площадок складирования животноводческих отходов;

$N_{ож}$ – потери азота (отдувка аммиака) с площадок складирования животноводческих отходов.

Далее рассчитывается выноса азота в гидрографическую сеть ($N_{гм}$) с площадок складирования минеральных удобрений как разница между величинами «потери» и «отдувка аммиака»:

$$N_{гм} = N_{пм} - N_{ом}, \quad (1.17)$$

где:

$N_{пм}$ – потери азота с площадок складирования минеральных удобрений;

$N_{ом}$ – потери азота (отдувка аммиака) с площадок складирования минеральных удобрений.

8. Вынос фосфора в гидрографическую сеть принимаются по величине $P_{пж}$.

Этап 2. Расчет поверхностно-дренажного выноса с сельскохозяйственных угодий в гидрографическую сеть может проводиться по двум вариантам:

- с учетом экспликации сельскохозяйственных угодий;
- с учетом урожайности.

Вариант первый.

1. По данным государственной статистической отчетности региональных Департаментов сельского хозяйства составляется информационная таблица с площадными характеристиками по использованию сельскохозяйственных угодий (пашни, сенокосы, пастбища) и дозами вносимых удобрений.
2. Для экспликационного расчета в зависимости от дозы применяемых удобрений принимаются средние модули поверхностно-дренажного выноса (пример для Нечерноземной зоны [Кирпичникова, 2000]):
 - по азоту для сильно удобряемой пашни (120–160 кг/га) – 3,46 кг/га; по фосфору для сильно удобряемой пашни (120–160 кг/га) – 0,42 кг/га;

- для пастбищ по азоту 0,34 кг/га; по фосфору – 0,14 кг/га;
- для сенокосов по азоту – 0,34 кг/га, по фосфору – 0,07 кг/га.

Далее рассчитывается массовый вынос азота (M_{Ni}) и фосфора (M_{Pi}) (кг) для каждого i -го вида сельскохозяйственного угодья:

$$M_{Ni} = \mu_{Ni} \times S_i, \quad (1.18)$$

$$M_{Pi} = \mu_{Pi} \times S_i, \quad (1.19)$$

где:

μ_{Ni} – модуль выноса азота с конкретного i -го сельскохозяйственного угодья;

μ_{Pi} – модуль выноса фосфора с конкретного i -го сельскохозяйственного угодья;

S_i – площадь i -го сельскохозяйственного угодья (га).

3. Рассчитывается суммарный вынос N и P (кг, т) для всех видов сельскохозяйственных угодий:

$$M_{Ncx2} = \Sigma M_{Ni}, \quad (1.20)$$

$$M_{Pcx2} = \Sigma M_{Pi}, \quad (1.21)$$

4. Рассчитываются суммарные потери двух стадий выноса N и P с сельскохозяйственных территорий:

$$M_{Ncx} = M_{Ncx1} + M_{Ncx2}, \quad (1.22)$$

$$M_{Pcx} = M_{Pcx1} + M_{Pcx2}, \quad (1.23)$$

5. При известной массе вносимых удобрений с невысокими дозами на сельскохозяйственные угодья допустимым алгоритмом по экспликационному методу для расчета второй стадии потерь биогенных элементов с сельскохозяйственных угодий может быть использован осредненный процентный коэффициент выноса азота и фосфора (пример для Нечерноземной зоны [Кирпичникова, 2000]).

– по азоту – 4,9%;

– по фосфору – 0,5%.

Поверхностно-дренажный вынос биогенных веществ с водосборов может проводиться также по методике [Kireicheva, Lentyaeva, 2020] с использованием эмпирических зависимостей и расчетных формул, устанавливающих связь природно-климатических факторов и условий ведения хозяйства. На примере водосбора р. Яхрома (Московская область) проводился расчет годового выноса биогенных веществ по следующим данным: площадь осушаемой территории; водопроницаемость почвы; средний уклон рельефа; среднегодовой модуль дренажного стока; коэффициент поверхностного стока;

среднегодовые осадки; нормы внесения минеральных и органических удобрений; содержание минерального и валового азота, валовое содержание калия в пахотном слое почвы; запас влаги в расчетном слое почвы до уровня грунтовых вод или до глубины заложения дрен; содержание подвижного и валового фосфора в пахотном слое.

Вариант второй.

Основан на дисбалансовом расчете по показателям внесения биогенных элементов на поля и выносом с урожаем.

Проводятся следующие этапы расчетов:

1. По статистической информации для каждого административного района водосбора определяется: урожайность основных сельскохозяйственных культур и масса поступившего азота и фосфора на поля (внесение удобрений по соответствующие культуры), табл. 1.15.
2. В соответствии с [Агрохимия, 1989] рассчитывается вынос азота и фосфора каждым типом сельскохозяйственной культуры.

Таблица 1.15

Примерный вынос N, P₂O₅ и K₂O одной тонной урожая некоторых культур [Kireicheva, Lentyaeva, 2020]

Культура	Урожайность, т/га	Вынос с 1 т продукции, кг			Вынос с 1 га, кг		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Кукуруза на зеленую массу	25 – 28	4	2	5	100 – 112	50 – 56	125 – 140
Кормовые корнеплоды	37 – 54	4,9	1,5	6,7	181 – 265	58 – 81	248 – 362
Сахарная свекла	24 – 26	5,9	1,8	7,5	142 – 153	43 – 47	180 – 195
Кукуруза на зерно	4,9 – 5,3	34	12	37	166 – 180	59 – 64	181 – 196
Озимая пшеница	2,9 – 3,2	35	12	25	101 – 112	35 – 38	73 – 80
Ячмень	2,2 – 2,4	27	11	24	59 – 65	24 – 26	53 – 58
Овес	2,2 – 2,5	30	13	29	66 – 75	29 – 32	64 – 72
Горох	1,6 – 1,8	66	16	20	106 – 119	26 – 29	32 – 36
Однолетние травы на сено	3,4 – 4,1	15	6	20	51 – 61	20 – 25	68 – 82
Многолетние травы на сено	4,0 – 5,2	18	7	20	72 – 94	28 – 36	80 – 104
Орошаемые сенокосы и пастбища (сухая масса)	5,8 – 8,9	19	6	20	110 – 169	35 – 53	159 – 178

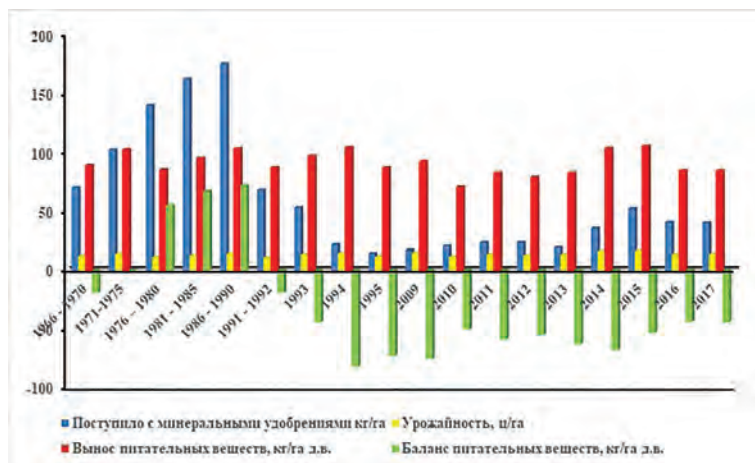


Рис. 1.14. Расчетные параметры по выносу биогенных веществ с сельскохозяйственных территорий с учетом урожайности за многолетний период 1966-2017 гг. (на примере водосбора Иваньковского водохранилища)

3. Дисбалансовая величина азота и фосфора определяется как разница, между количеством внесенных масс азота и фосфора и выносом с урожаем (по каждому типу культуры).

Пример многолетних оценок по параметрам выноса биогенных веществ с учетом урожайности сельскохозяйственных культур приведен на *рис. 1.14*.

4. Рассчитывается часть азота и фосфора, не усвоенная почвой и поступившая в гидрографическую сеть. При этом учитывается, что доля закрепленного в почве фосфора составляет 65-75 % [Джонстон, Саейрс, 2013], а азот (не усвоенный почвой) практически полностью поступает в гидрографическую сеть.

1.2.1.2 Методы оценки диффузного стока с городских территорий и промышленных площадок

Формирование поверхностного стока городской территории представляет собой сложный процесс, подверженный влиянию таких факторов, как назначение и степень хозяйственного освоения территории, ее загрязненность, интенсивность и продолжительность осадков, продолжительность предшествующего сухого периода, нормы расхода воды при мойке дорожных покрытий. На состав поверхностного стока также оказывают влияние загрязненность атмосферы, наличие и численность промышленных предприятий и строительных площадок, интенсивность движения транспорта, режимы уборки территории, особенности местной гидрографии и климата [Бульская, Волчек, 2013].

Основными методическими вопросами при изучении формирования стока с городских территорий и промышленных зон, а также влияния на качество воды водных объектов-водоприемников являются:

- определение источников загрязнения и приоритетных ЗВ;
- расчет и обоснование средних концентраций ЗВ с определением амплитуды колебания в процессе образования стока;
- оценка негативного воздействия поверхностного городского стока на окружающую среду.

Степень и характер загрязнения поверхностного стока с селитебных территорий и площадок предприятий различны и зависят от санитарного состояния территории водосбора и приземной атмосферы, плотности населения, уровня благоустройства территории, характера технологических процессов и операций, а также гидрометеорологических параметров: интенсивности и продолжительности дождей, интенсивности процесса весеннего снеготаяния. Определяющими параметрами в формировании концентраций загрязняющих примесей в дождевом явлении являются слой осадков и продолжительность бездождного периода, а амплитуда концентраций зависит в основном от интенсивности выпадающих осадков. Наибольшие концентрации наблюдаются в начале стока до достижения максимальных расходов, после чего они снижаются.

Все ЗВ, присутствующие в поверхностном стоке поселений, разделяют на:

- минеральные и органические примеси естественного происхождения, образующиеся в результате абсорбции газов из атмосферы и при эрозии почвы, в том числе: растворенные органические и минеральные вещества, а также грубодисперсные примеси (частицы песка, глины, гумуса);
- вещества техногенного происхождения в различном фазово-дисперсном состоянии: нефтепродукты, вымываемые компоненты дорожных покрытий, соединения тяжелых металлов, СПАВ и другие компоненты, перечень которых зависит от профиля предприятий местной промышленности;
- бактериальные загрязнения, поступающие в дождевую канализацию при неудовлетворительном санитарно-техническом состоянии территории и канализационных сетей.

Классификация основных источников поступления химических веществ в состав поверхностного стока представлена в *табл. 1.16*.

Характерными показателями поверхностного стока с селитебных территорий являются такие обобщенные показатели качества воды, как содержание взвешенных веществ, нефтепродуктов и значение показателей БПК₂₀ и ХПК, суммарно характеризующие присутствие легко- и трудно окисляемых органических соединений.

Типичными специфическими загрязняющими компонентами в составе поверхностного стока с селитебных территорий являются СПАВ, соли тяжелых металлов, биогенные элементы, а также противогололедные реагенты в случае их использования. Эти компоненты следует включать в перечень приоритетных показателей только по данным натурных исследований после изучения причин, обуславливающих их присутствие.

Таблица 1.16

Классификация основных источников поступления химических веществ в составе поверхностного стока

Загрязняющие вещества	Источники поступления ЗВ			
	атмосфера	поверхности территорий	почвы	растительный покров
Взвешенные вещества	атмосферные осадки, выбросы автотранспорта, отопительных систем, предприятий	поверхности автодорог, крыши, тротуары, газоны	эрозия почвы	смыв атмосферными осадками
Вещества группы азота и фосфаты	атмосферные осадки, выбросы автотранспорта	накопление бытовых отходов,	использование удобрений	опавшие листья, травяной покров
Нефтепродукты	–	автозаправки и ремонтные мастерские, утечка на автодорогах, асфальтированные покрытия с депрессиями	верхний слой придорожной полосы	–
Тяжелые металлы	отработанные газы автомобилей	износ деталей двигателя, подшипников	верхний слой придорожной полосы	смыв атмосферными осадками

Примерное содержания некоторых тяжелых металлов в поверхностном стоке городов приведено в *табл. 1.17*

Таблица 1.17

Среднегодовые концентрации тяжелых металлов в поверхностном стоке, мг/л [Масленникова, Горбунова, 2007]

Загрязняющие вещества	Дождевые воды, мг/л	Талые воды, мг/л	ПДК _{рхн} , мг/л
Алюминий	1–3	1,3–4,0	0,04
Марганец	0,3–0,5	0,35–0,55	0,01
Цинк	0,25–0,3	0,3–0,4	0,01
Свинец	0,05–0,07	0,06–0,08	0,006
Медь	0,03–0,04	0,04–0,05	0,001

Определение массовых величин ЗВ в поверхностном городском стоке может проводиться по удельным характеристикам (средним модулям) как для всей территории, так и с заданными концентрациями для отдельных функциональных зон [Масленникова, Горбунова, 2007; Китаев, 1992; Китаев, 1993; Рекомендации по расчету..., 2014]. Однако более точные оценки могут быть получены по экспериментальным наблюдениям непосредствен-

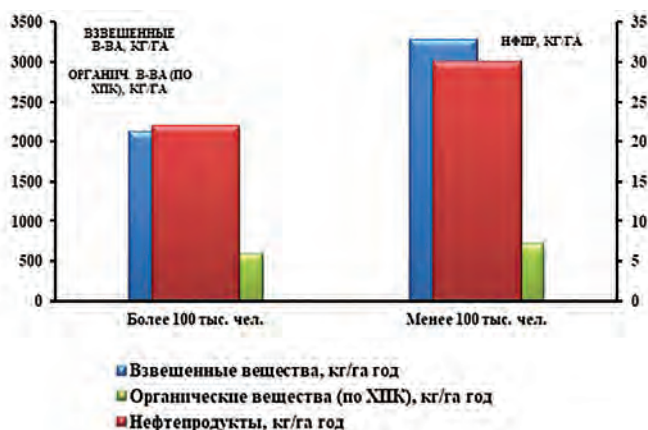


Рис. 1.15. Удельный вынос (кг/год га) взвешенных, органических веществ и нефтепродуктов в поверхностном стоке городов водосбора Ивановского водохранилища [56]

но на выпусках городской ливневой канализации в период дождей и снеготаяния [Кирпичникова, 2000; Гордин, Кирпичникова, 1993].

Удельный вынос естественных примесей с дождевым стоком с селитебных территорий больших городов при плотности населения, близкой к 100 чел/га, а также средних и малых городов с современным уровнем благоустройства для укрупненных расчетов в первом приближении можно принимать по данным *табл. 1.18* [Рекомендации, 2014]. Для городов, селитебная плотность которых значительно отличается от величины 100 чел/га, следует вводить поправочный коэффициент, равный $P/100$, где P – селитебная плотность населения рассматриваемого объекта.

Пример уточненных модулей смыва ЗВ для городов Верхней Волги (водосбор Ивановского водохранилища) приведен на *рис. 1.15* [Кирпичникова, 1991].

Таблица 1.18

Удельный вынос приоритетных компонентов в дождевом стоке с селитебных территорий больших городов при плотности населения, близкой к 100 чел/га [Рекомендации по расчету..., 2014]

Загрязняющие компоненты	Удельный вынос, кг/(га-год)
Взвешенные вещества	2500
Органические вещества по показателям:	
ХПК	1000
БПК ₂₀	140
Нефтепродукты	40
Биогенные элементы:	
соединения азота	6
соединения фосфора	1,5
Минеральные соли	400

Экспликационный метод расчета предполагает выделение на территориях городов следующих основных функциональных зон: индивидуальная застройка, коммунальная застройка (старая), коммунальная застройка (новая), асфальтированная территория с интенсивной транспортной нагрузкой – и состоит из 4 этапов:

I этап. На основании картографических и фондовых материалов, а также космоснимков рассчитываются площади указанных зон для конкретной городской территории, т.е. рассчитываются экспликационные площадные характеристики.

II этап. На основании фондовых, справочных материалов и литературных источников [Масленникова, Горбунова, 2007; Китаев, 1992; Китаев, 1993; Рекомендации по расчету..., 2014] (табл. 1.19), а также экспериментальных исследований в каждой городской зоне определяются средние концентрации для разных гидрологических сезонов (снеготаяние, дожди).

Следует отметить, что суточные значения концентраций характеризуются большой амплитудой колебаний, поэтому для уточнения принятых величин экспериментальные измерения концентраций (и расходов воды) должны проводиться несколько раз в сутки в течение всего периода снеготаяния в городе. Во время интенсивных ливней концентрации измеряются с периодичностью 15–30 мин. При этом для экспериментов должны выбираться ливневые выпуски, охватывающие водосборы конкретных функциональных зон.

Таблица 1.19

Ориентировочный состав поверхностного стока для различных участков водосборных поверхностей селитебных территорий, мг/дм³ [Рекомендации по расчету..., 2014]

Площадь стока	Дождевой сток			Талый сток		
	взвеш. вещества	БПК ₂₀	нефте-продукты	взвеш. вещества	БПК ₂₀	нефте-продукты
Участки селитебной территории с высоким уровнем благоустройства и регулярной уборкой дорожных покрытий (центральная часть города с адм. зданиями, торговыми и адм. центрами)	400	40	8	2000	70	20
Современная жилая застройка	650	60	12	2500	100	20
Магистральные улицы с интенсивным движением транспорта	1000	80	20	3000	120	25
Территории, прилегающие к промышленным предприятиям	2000	90	18	4000	150	25
Кровли зданий и сооружений	< 20	< 10	0,01–0,7	< 20	<10	0,01–0,7
Территории с преобладанием индивидуальной жилой застройки; газоны и зеленые насаждения	300	60	<1	1500	100	< 1

III этап. На основании информационных справочников Росгидромета по измеренным слоям атмосферных осадков и по коэффициентам стока с различных типов поверхности рассчитывается объем поверхностного стока (талого или ливневого).

Выделяют три типа поверхностей, характеризующихся определенными инфильтрационными особенностями: непроницаемые (асфальт, крыши), полупроницаемые (грунтовые площадки) и проницаемые (парки, скверы). К стокообразующим относятся непроницаемые и, частично, полупроницаемые поверхности. Коэффициенты стока могут задаваться и по *табл. 1.20* [Рекомендации по расчету..., 2014].

Таблица 1.20

Принимаемые коэффициенты стока в зависимости от подстилающей поверхности [Рекомендации по расчету..., 2014]

Вид поверхности стока	Постоянный коэффициент стока
Водонепроницаемые поверхности (кровли и асфальтобетонные покрытия)	0,95
Брусчатые мостовые и щебеночные покрытия	0,60
Булыжные мостовые	0,45
Гравийные садово-парковые дорожки	0,30
Грунтовые поверхности (спланированные)	0,2
Газоны	0,1

IV этап. Определяются массовые значения загрязненного поверхностного городского стока для каждой функциональной зоны.

Далее суммируются массовые значения стока по определенным показателям всех функциональных зон города.

Соответственно, рассчитываются и модули поверхностного стока по конкретным веществам для каждой функциональной зоны. Пример приведен в *табл. 1.21*.

Таблица 1.21

Среднегодовалый модуль ($\text{кг}/\text{км}^2$) показателей состава ливневого и талого стока с характерных участков (г. Курск) [Китаев, 1992]

Функциональная зона	N _{мин}			P _{мин}	K ⁺	ХПК	Нефте-продукты	Сумма ионов
	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻					
Индивидуальная застройка	<u>5,8</u> 47,1	<u>1,8</u> 2,5	<u>4,6</u> 18,5	<u>1,8</u> 8,8	<u>2044</u> 252	<u>332</u> 1833	<u>0,2</u> 4,3	<u>89110</u> 9302
Коммунальная застройка /старая/	<u>6,0</u> 39,5	<u>19,5</u> 2,5	<u>140</u> 10,9	<u>28,4</u> 19,0	<u>2144</u> 358	<u>9431</u> 1819	<u>24,0</u> 66,3	<u>85090</u> 11256

Продолжение Табл. 1.21

Функциональная зона	N _{мин}			P _{мин}	K ⁺	ХПК	Нефте-продукты	Сумма ионов
	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻					
Асфальтированная территория с интенсивной транспорт. нагрузкой	57,0	20,1	469	3,4	5326	37885	67,0	133665
	180,0	36,4	18,8	24,6	1590	8610	26,6	138900

Примечание: числитель – ливневой сток, знаменатель – талый сток.

Также для общих массовых оценок загрязненности талого и дождевого городского стока применяется метод идентификации. Для определенного населенного пункта (города), расположенного непосредственного на берегу реки (водотока), в створах до и после (города) проводятся учащенные измерения гидрологических и гидрохимических параметров. Далее балансовым методом или с применением математических моделей проводится идентификация загрязненного городского стока. Этот подход применим для общих интегральных оценок, наиболее репрезентативным для расчетов является период снеготаяния [Кирпичникова, 1991; Гордин, Кирпичникова, 1990а].

Поверхностный сток с территории промышленных предприятий имеет, как правило, более сложный состав и определяется характером основных технологических процессов. Концентрация примесей зависит от вида поверхности водосбора, санитарно-технического состояния территории, эффективности работы систем газо- и пылеулавливания, организации складирования и транспортирования сырья, промежуточных и готовых продуктов, а также отходов производства. На крупных предприятиях, включающих различные производства, поверхностный сток с отдельных территорий может заметно отличаться от стока с других участков и общего стока.

В зависимости от состава примесей, накапливающихся на промышленных площадках и смываемых поверхностным стоком, промышленные предприятия и отдельные их территории можно разделить на две группы [Рекомендации по расчету..., 2014].

Примерная характеристика дождевых сточных вод по основным показателям загрязнения для предприятий первой и второй групп приведена в табл. 1.22 [Рекомендации по расчету..., 2014].

Таблица 1.22

Примерный состав дождевых сточных вод по основным показателям загрязнения для предприятий первой и второй групп

Показатель	Значение показателей загрязнения дождевых вод, мг/дм ³	
	первая группа предприятий	вторая группа предприятий
Взвешенные вещества	400–2000*	500–2000
Солесодержание	200–300	50–3000
Нефтепродукты	10–30 (70*)	До 500
ХПК фильтрованной пробы	100–150**	До 1400
БПК ₂₀ фильтрованной пробы	20–30**	До 400
Специфические компоненты	Отсутствуют	В зависимости от профиля производства содержат тяжелые металлы, фенолы, СПАВ, фосфор, аммиак, фтор, жиры, масла, белки, углеводороды и т.д.

* Высокие значения для предприятий с интенсивным движением транспорта и значительным потреблением горюче-смазочных материалов, а также АЗС.

** С учетом диспергированных примесей показатели увеличиваются в 2–3 раза

Определение расчетных концентраций ЗВ при отведении поверхностного стока. Если организованы натурные наблюдения поверхностного стока, определение средних значений показателей выполняют путем статистической обработки данных химического анализа по формуле:

$$C_{cp} = \sum C_i F_i / \sum F_i \quad i = 1, \dots, n, \quad (1.24)$$

где C_i – концентрация ЗВ (и ли показателей качества) в поверхностных сточных водах, отводимых с различных площадей стока F_i , мг/дм³; $\sum F_i$ – общая площадь стока, га.

Пробы воды для определения состава поверхностных сточных вод следует отбирать в точках, расположенных в регулирующих или аккумулирующих емкостях (накопителях) – на входе в аккумулирующие резервуары (накопители). При наличии локальных очистных сооружений – непосредственно на входе на очистные сооружения; при отсутствии регулирующих резервуаров и очистных сооружений – на выпуске поверхностных сточных вод в водный объект.

За расчетную концентрацию ЗВ в поверхностных сточных водах, отводимых на очистные сооружения после регулирования стока, рекомендуется принимать среднюю величину по имеющемуся ряду наблюдений (выборке

из генеральной совокупности) с оценкой доверительного интервала по критерию Стьюдента.

Рекомендуется организовать отбор проб, чтобы количество членов выборки используемого ряда наблюдений (количество измерений) по каждому контролируемому показателю должно быть не менее 10.

Расчет характеристик поверхностного стока площадок предприятий можно проводить как для конкретных периодов с характерными метеоусловиями (и информационные справочники Росгидромета), так и для среднегодовых значений по методике [Рекомендации по расчету..., 2014].

Среднегодовой объем поверхностных сточных вод, образующихся на площадках предприятий в период выпадения дождей, таяния снега и мойки дорожных покрытий, определяется по формуле:

$$W_{\Gamma} = W_{\text{д}} + W_{\text{т}} + W_{\text{м}}, \quad (1.25)$$

где $W_{\text{д}}$, $W_{\text{т}}$ и $W_{\text{м}}$ – среднегодовой объем дождевых, талых и поливочных вод, м³.

Среднегодовой объем дождевых ($W_{\text{д}}$) и талых ($W_{\text{т}}$) вод, стекающих с промышленных площадок, определяется по формулам:

$$W_{\text{д}} = 10 K h_{\text{д}} \Psi_{\text{д}} F, \quad (1.26)$$

$$W_{\text{т}} = 10 h_{\text{т}} \Psi_{\text{т}} F, \quad (1.27)$$

где F – общая площадь стока, га;

$h_{\text{д}}$ – слой осадков, мм, за теплый период года (определяется по табл. 2 СНиП 23-01–99 [Рекомендации по расчету..., 2014]);

$h_{\text{т}}$ – слой осадков, мм, за холодный период года (определяет общее годовое количество талых вод) или запас воды в снежном покрове к началу снеготаяния (определяется по табл. 1 СНиП 23-01–99 [Рекомендации по расчету..., 2014]);

$\Psi_{\text{д}}$ и $\Psi_{\text{т}}$ – общий коэффициент стока дождевых и талых вод, соответственно,

K – коэффициент в формуле (1.24), учитывающий неравномерность выпадения дождя [Рекомендации по расчету..., 2014].

При определении среднегодового количества дождевых вод $W_{\text{д}}$, стекающих с промышленных площадок, общий коэффициент стока $\Psi_{\text{д}}$ для общей площади стока F рассчитывается как средневзвешенная величина из частных значений для площадей стока с разным видом поверхности (см. табл. 1.20).

При определении среднегодового объема талых вод общий коэффициент стока $\Psi_{\text{т}}$ с площадок предприятий с учетом уборки снега и потерь воды за счет частичного впитывания водопроницаемыми поверхностями в период оттепелей можно принимать в пределах 0,5–0,7.

Общий годовой объем поливомоечных вод (W_m), стекающих с площади стока, определяется по формуле:

$$W_m = 10 m k F_m \Psi_m, \quad (1.28)$$

где m – удельный расход воды на мойку дорожных покрытий (как правило, принимается 1,2–1,5 л/м² на одну мойку); k – среднее количество моек в году (для средней полосы России составляет около 150); F_m – площадь твердых покрытий, подвергающихся мойке, га, Ψ_m – коэффициент стока для поливомоечных вод (принимается равным 0,5).

Расчетную площадь стока для рассчитываемого участка сети необходимо принимать равной всей площади стока или части ее, дающей максимальный расход стока. Если площадь стока составляет 500 га и более, то в формуле (1.26) следует вводить поправочный коэффициент K , учитывающий неравномерность выпадения дождя по площади [Рекомендации по расчету..., 2014].

Кроме стандартных рекомендаций более точные оценки можно получить при организации экспериментальных работ на промышленных площадках [Гордин, Кирпичникова, 1993] (рис. 1.16).

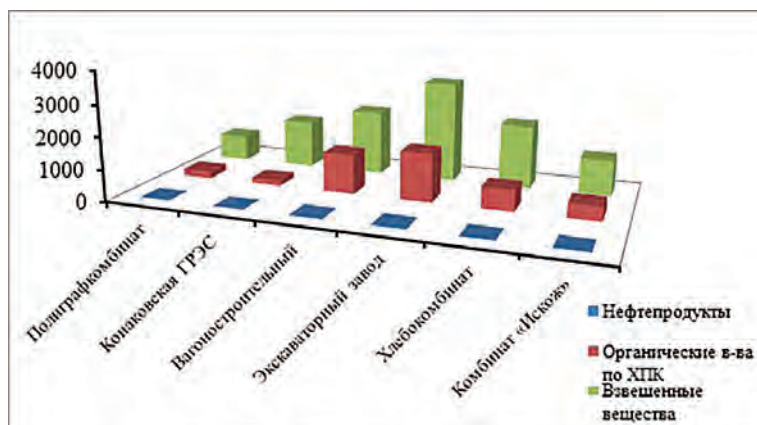


Рис. 1.16. Экспериментальные модули смыва загрязняющих веществ с промышленных площадок Верхней Волги (водосбор Иваньковского водохранилища), кг/га год

1.2.1.3 Методы оценки диффузного стока от свалок ТКО и хвостохранилищ

Методика оценки диффузного загрязнения свалок ТКО и хвостохранилищ основана на использовании моделей фильтрации загрязненного стока [Самохин и др., 1980]. Ниже излагаются этапы реализации этого метода.

1. Анализ гидрогеологических условий, определяющих миграцию с территории свалок (полигонов ТКО): геологическое строение, в том числе четвертичные отложения, неогеновые отложения, песчаные и глинистые слои, юрские и каменноугольные отложения; гидрогеологическое строение – водоносные горизонты, наличие гидравлической связи свалочного фильтрата, поверхностных, грунтовых и подземных вод.

Мониторинг включает режимные гидрогеологические наблюдения в специально пробуренных скважинах, режимные гидрологические наблюдения в контрольных створах, исследование донных отложений, почв и растительности в контрольных точках с фиксацией загрязнений, характерных для фильтрата полигона.

Типичные характеристики грунтовых вод полигонов ТКО: БПК₅, ХПК, жесткость общая, минерализация, количество взвешенных веществ, концентрации ЗВ: нефтепродуктов, 3,4-бенз(а)пирена, хлорорганических соединений (обычно перхлорэтилена, трихлорэтилена, четыреххлористого углерода, хлороформа, 1,1,1-трихлорэтана, которые являются канцерогенами), хлоридов, нитритов, магния, натрия, катионов аммония, железа общего, хрома общего, никеля, ртути, марганца, мышьяка, кадмия, свинца, цинка.

Нормативные требования на содержание хлорорганических соединений в питьевой воде в настоящее время соответствуют международным требованиям. Например, содержание тетрахлорэтилена и трихлорэтилена в воде определяется гигиеническими нормативами ГН 2.1.5.2280-07, в которых предельно допустимая концентрация (ПДК) для этих веществ равны 0,005 мг/л. Такие нормативы соответствуют международным: в США максимальный уровень загрязнения (MCL) для трихлорэтилена и тетрахлорэтилена соединений составляет также 0,005 мг/л.

В России при исследованиях на полигонах ТКО, как правило, не делают анализов на хлорорганические соединения. Ореолы загрязнения хлорорганическими соединениями значительно превышают область влияния полигона, которая идентифицируется по макрокомпонентам-индикаторам [Санитарные..., 2001].

2. Модель геомиграции ЗВ с территории полигонов ТКО. Расчеты воздействия полигонов ТКО на подземные воды следует проводить на основе кода Visual MODFLOW [Математическое..., 2020], позволяющего решать задачи геофильтрации-геомиграции, уравнения которых приведены ниже.

Уравнение геофильтрации. Миграция ЗВ с полигонов ТКО описывается уравнением трехмерной стационарной фильтрации:

$$\nabla K \nabla h + Q = 0 \quad (1.29)$$

где оператор $\nabla = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$, x , y , z – пространственные координаты, h – напор подземных вод, [L] определяется согласно:

$$h = \frac{P}{\rho g} + z \quad (1.30)$$

где P – давление жидкости, [L], ρ – плотность жидкости, g – ускорение свободного падения; z – расстояние по вертикали от выбранной плоскости сравнения, [L]; K – тензор коэффициента фильтрации, позволяющий учитывать пространственную анизотропию фильтрационных свойств (диагональные компоненты k_{xx} , k_{yy} , k_{zz}).

Верхней границей модели является свободная уровенная поверхность H (x, y), на которой избыточное давление равно 0 и, следовательно, $H(x, y) = h(x, y, H) = z$. На свободную поверхность поступает инфильтрационное питание w .

Геомиграция описывается уравнением конвективного массопереноса и трехмерной фильтрации с учетом распада и сорбции компонента:

$$R\theta \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\theta D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_i} (\theta v_i C) - \lambda \theta R C \quad (1.31)$$

где: R – фактор замедления, θ – пористость грунта, C – концентрация растворенного загрязняющего компонента, [ML^{-3}]; D_{ij} – тензор гидродинамической дисперсии, [$L^2 T^{-1}$]; v (v_1, v_2, v_3) – скорость фильтрации; [LT^{-1}]; λ – константа распада, [T^{-1}]; t – время, [T]; x_i – декартовы координаты, [L]; $i = 1, 2, 3$.

Фактор замедления R определяется соотношением:

$$R = 1 + \rho \Gamma / \theta \quad (1.32)$$

где ρ – плотность грунта, [ML^{-3}]; Γ – коэффициент сорбции, [L^3/M].

Компоненты тензора гидродинамической дисперсии определяются согласно:

$$D_{ij} = v_i v_j / v \quad (1.33)$$

где: v – модуль скорости.

Модель геомиграции была реализованы для полигона ТКО «Щербинка» в Московской области. Этапы реализации:

1. Схематизация природных условий. Выполнена горизонтальная дискретизация расчетной области $13,6 \times 10,9$ км, сеткой со стороной ячеек 50 м вокруг свалки. Вертикальная дискретизация произведена на основе распространения водоносных горизонтов и разделяющих их водоупорных отложений на данной территории и была реализована тремя модельными слоями.
2. Параметризация модели геофильтрации. Проводились полевые испытания трассерным методом. Метод заключается в закачке индикатора в пусковую скважину и последующем временном прослеживании изменения концентрации в откачивающей скважине. В качестве индикаторного раствора использовался хлорид натрия с концентрацией 50,5 г/л. Закачка в пусковую скважину продолжалась 30 мин. Всего было закачено 540 литров раствора.
Наблюдения за изменением концентрации индикатора в откачивающей скважине проводились в течение 5,5 часа от начала закачки индикатора. Значения миграционных параметров подольско-мячковского горизонта были получены путем подбора в процессе численного моделирования серии вариантов миграционных задач. Были получены следующие значения миграционных параметров: пористость – 0,008; продольная дисперсивность – 0,50; поперечная дисперсивность – 0,12.
3. Проверка адекватности модели геофильтрации. Было выполнено решение геофильтрационной задачи с использованием полученных параметров. Сопоставление фактических и модельных расчетов представлено.
4. Расчеты миграции загрязняющего компонента были выполнены для тетрахлорэтилена, который является консервативным трассером с ПДК=0,005 мг/л.

Тетрахлорэтилен используется как растворитель, массово его применяют для чистки одежды, это вещество воздействует на печень, почки, центральную нервную систему.

Полученные результаты подтверждают, что полигон ТКО «Щербинка» является источником загрязнения подольско-мячковского водоносного горизонта.

1.2.2 Гидролого-гидрохимические модели формирования диффузного загрязнения

Гидролого-гидрохимические модели формирования на водосборе качества воды описывают отдельные процессы, происходящие на водосборе и приводящие к формированию определенного химического состава воды водного объекта.

Интенсивное развитие методов расчета загрязнения водосборных территорий происходило с 1960-х гг., главным образом, в связи с загрязнением окружающей среды в результате внесения удобрений на сельскохозяйствен-

ные поля. В простейших методиках использовались в основном эмпирические методы расчета количества смыва ЗВ с загрязненных территорий на основе корреляционных связей с гидрологическими параметрами [Bedient et al., 1980]. Модель CREAMS (Chemicals Runoff and Erosion from Agricultural Management System) [Knisel, 1980] была одной из первых концептуальных моделей формирования качества вод в пределах однородного участка водосбора или в масштабе поля (field scale), включающих описание процессов. Со второй половины 1990-х – начала 2000-х гг. для решения задач диффузного и точечного загрязнения используются пространственно распределенные или полураспределенные физически обоснованные модели формирования качества воды. Небольшие суббассейны, или так называемые hydrological response units (HRU) внутри суббассейнов, которые являются однородными по типу почвы, землепользованию и высоте над уровнем моря, используются в качестве расчетных единиц в таких моделях [Krysanova et al., 2009].

К настоящему времени разработано и используется для решения конкретных задач большое количество моделей качества воды, различающихся подходами, использованным математическим аппаратом, степенью детализации описания процессов в компонентах геосистемы водосбора, пространственно-временными масштабами, требованиями к исходной информации и экономическими факторами. В современных наиболее детальных математических моделях формирования качества воды рассматривается последовательное решение четырех основных задач: моделирование процессов гидрологического цикла суши; моделирование процесса водной эрозии почв; моделирование функционирования растительного покрова и продукционных процессов; моделирование процессов формирования и выноса химического стока.

Водный фактор является той средой, благодаря которой ЗВ мигрируют в пределах речного бассейна (как по вертикали, так и по горизонтали) и выносятся за его пределы речным стоком. Поэтому *гидрологический блок* в моделях качества воды является основным. Моделирование гидрологического цикла суши включает процессы преобразования осадков в речной сток, каждый из которых может быть представлен в виде отдельных расчетных блоков, например: модель перехвата жидких осадков растительностью, модель инфильтрации воды в почву, модель формирования талого стока, модель поверхностного склонового стока, метод расчета испарения с поверхности снежного покрова под пологом леса, модель внутрпочвенного стекания и др. Модели процессов гидрологического цикла подробно рассмотрены в [Мотовилов, Гельфан, 2018].

Процессы смыва почвы и грунта со склонов и формирование твердого стока описываются в *блоке эрозии почвы*. Во многих моделях качества воды этому блоку уделяется существенное внимание, так как значительное количество ЗВ перемещается и поступает в водные объекты с поверхностным стоком в сорбированном на твердых взвешках виде. Различают модели дождевой эрозии почв и эрозии при весеннем половодье.

При выпадении дождя поверхностный слой почвы увлажняется, а в результате ударного действия капель происходит диспергирование почвенных агрегатов и закупорка порового пространства. Водопроницаемость почвы резко уменьшается и начинает формироваться склоновый поток. Стеkanie воды со склона происходит как сплошной пеленой (межручейковая эрозия), так и через ручейковую сеть (ручейковая эрозия), формирующуюся в процессе выпадения дождя.

В результате удара капель о почву (покрытую водной пленкой) происходит отрыв и диспергирование почвенных агрегатов, которые попадают сразу в ручейковую сеть (если она формируется) или сначала оказываются в межручейковом пространстве, а затем вместе с водой перемещаются в ручейковый поток. Этот поток обладает значительной способностью к размыву, что приводит к существенным потерям почвы со склона. Однако склоновые потоки имеют ограниченную транспортирующую способность, и при ее превышении может происходить отложение почвы (особенно при наличии выположенных участков). Наличие растительности значительно снижает эрозионные процессы.

В настоящее время существует и используется большое количество моделей дождевой эрозии, полученных при различных подходах к описанию эрозионных процессов [Мирцхулава, 1970; Сурмач, 1979; Сухановский, 1983; Сухановский, 1991; Хрисанов, Осипов, 1993; Инструкция..., 1979; Beastley, Huggins, 1981; Blau et al, 1988; Foster, Meyer, 1975; Hirshi, Barfield, 1986; Khanbilvardi, Rodowaki, 1984; Kibler, Wolhiser, 1970; Lighthill, Whitham, 1955; Onstad, Foster, 1975; Onstad, Otterbi, 1982; Park et al., 1982; Pierre, Macel, 1985; Williams et al., 1983].

Одной из самых известных и широко применяемой эмпирической эрозионной моделью является «универсальное уравнение почвенной эрозии» USLE (Universal Soil Loss Equation) [Wischmeier, Smith, 1978; Maidment, 1992]. В уравнении учитываются такие факторы, как параметры склона, тип почвы, агрофон, интенсивность дождя, кинетическая энергия дождевых капель и глубина потока. Широкомасштабные исследования по обоснованию этого уравнения были начаты в США в 1954 г. [Эрозия..., 1984]. В частности, были использованы результаты наблюдений более чем 8000 годоплощадок, расположенных в 21 штате. Полученные по этим площадкам выводы с помощью уравнения USLE распространялись на другие условия, которые в разумных пределах отличались от стандартных.

Учитывая, что универсальное уравнение имеет ряд существенных недостатков, проводилось его усовершенствование по следующим направлениям: замена эрозионного индекса дождя на другие параметры [Foster et al, 1977a,b; Park et al., 1982]; учет переменной крутизны вдоль профиля склона [Foster, Wischmeier, 1974]; применимость уравнения для водосбора [Kuh Hsien-chien et al., 1976] и др.

В весенний период в результате таяния снега формируются склоновые потоки. Они обуславливают смыв почвы, физический механизм которого изу-

чен недостаточно. Сложность гидротермических процессов, протекающих на склонах в период весеннего снеготаяния, с одной стороны, и практически экспериментальная неизученность механизма эрозии – с другой, привели к тому, что для расчета смыва мерзлой почвы разработаны только чисто эмпирические методы. В частности, в методике ГГИ [Инструкция..., 1979] для расчета смыва почвы в период весеннего половодья рекомендуется зависимость, аналогичная используемой для дождевого стока, но с другими значениями параметров. В работе [Motovilov, 1987] на базе этой же методики рассмотрен способ расчета пространственных полей смыва почвы со склонов водосбора в период весеннего половодья для различных сценариев землепользования в бассейне на основе физико-математической модели формирования талого стока. Для расчета смыва почвы Г.П. Сурмачом предложена зависимость [Сурмач, 1979], учитывающая характеристики склона, тип почвы и ее эродированность, механический состав, неравномерность снегоотложения и агротехнический фон. Часто для расчета смыва почвы при снеготаянии используется универсальное уравнение, в котором вместо эрозионного индекса дождя вводится величина запаса воды в снеге, выпавшего за период декабрь – март [Williams, 1974; Wischmeier, Smith, 1978].

Функционирование растительного покрова и продукционные процессы описываются в блоке *роста растительности и сельскохозяйственных культур*. Растительный покров является важным участником процессов энерго- и массообмена в системе «почва – растительность – приземный слой атмосферы». Основные физиологические процессы жизнедеятельности растений: фотосинтез и дыхание, процессы роста, развития и старения, адаптивные механизмы тесно связаны с гидрологическим циклом и круговоротом биогенных веществ.

В [Моделирование..., 1986] де Вит предложил различать четыре уровня – модели продуктивности сельскохозяйственных культур. На первом уровне продуктивности рост растений происходит в условиях обеспеченности питательными веществами и почвенной влагой. Скорость роста определяется условиями погоды. Факторами, ограничивающими скорость роста, являются интенсивность радиации, степень ее поглощения и использования растениями. Эффективность использования световой энергии посевами является характеристикой данного вида растений и плотности растительного покрова. Модели первого уровня продуктивности могут быть использованы в тех случаях, когда влагообеспеченность и условия минерального питания не ограничивают продуктивность.

На втором уровне продуктивности рост растений лимитируется дефицитом влаги, но при достаточной влагообеспеченности скорость роста повышается до максимального значения, которое определяется погодой. Ключевыми факторами на этом уровне продуктивности служат доступность почвенной влаги и эффективность ее использования в растениях. Дефицит влаги заставляет растения закрывать устьица и приводит к сокращению ассимиляции CO_2 и транспирации. Поэтому скорости обоих процессов нахо-

дятся в тесной связи. На третьем и четвертом уровнях продуктивности рост лимитируется недостатком минерального питания (азота и фосфора).

Несмотря на то, что в действительности часто встречаются гораздо более сложные системы, анализ уровней продуктивности может рассматриваться как основа установления причинно-следственных связей для процессов функционирования растительного покрова. Подобный анализ, построенный на зависимости физиологических процессов от внешних факторов, применим ко всем ситуациям, в которых растения растут как в условиях сельскохозяйственного производства, так и в естественных условиях.

Началом математического моделирования продукционного процесса растительного покрова считается 1953 г., когда появилась работа [Monsi, Saeki, 1953], в которой построена модель функционирования растительного покрова в зависимости от солнечной радиации, относительной площади листьев и их ориентации в пространстве. Концептуальные модели жизнедеятельности растения с учетом фотосинтеза листа в зависимости от внешних условий (приходящей прямой солнечной и рассеянной радиации, концентрации углекислого газа в окружающем воздухе и др.) и архитектоники посева были разработаны в [Saeki, Kuroiwa, 1959; Gaastra, 1959; De Wit, 1959]. В работе австралийских ученых [Davidson, Philip, 1958] впервые сформулировано уравнение роста растения как разность между фотосинтезом и затратами на дыхание. В работе [Hiroi, Monsi, 1966] дыхание разделено на дыхание поддержания и дыхание роста, заложены основы количественного описания распределения ассимиляторов по органам растения.

В работах отечественных исследователей [Будаговский и др., 1964; Будаговский, Росс, 1966] сформулированы общие принципы построения теории моделирования продукционного процесса. Ю.К. Россом [Росс, 1964] разработана математическая модель посева, в которой детально рассмотрено влияние ориентации листьев, радиационного и температурного режимов на фотосинтез, предложена система уравнений для описания роста отдельных органов растения.

В работах [Бихеле и др., 1980; Сиротенко, 1981] представлены комплексные динамические модели, объединяющие в одну систему отдельные процессы биопродуктивности растений и учитывающие законы массо- и энергопереноса. В монографии [Бихеле и др., 1980] представлена модель фотосинтеза, транспирации и продуктивности растений в условиях недостатка почвенной влаги. В модели подробно рассмотрены передвижение воды в системе «почва – растение – атмосфера», тепловой баланс листа и механизм устьичной регуляции, через который осуществляется взаимосвязь между транспирацией и фотосинтезом. Проведенные авторами численные эксперименты дают представление о роли и характере влияния метеорологических, почвенных и биофизических параметров на продуктивность отдельного растения.

В модели «погода – урожай» [Сиротенко, 1981] детально учтен энерго- и массообмен в системе «почва – растение – атмосфера». Фотосинтез описывается уравнением Шартье, рост – уравнениями Росса, распределение ассимиляторов по органам растений тесным образом связано с фазой развития

растения в течение вегетационного периода. В модели введена функция пожелтения, описывающая процессы старения вегетативных органов, учитываются неблагоприятные для растений факторы внешней среды. В [Моделирование..., 1986] представлена модель SUCROS, позволяющая рассчитывать динамику накопления сухого вещества посева от фазы всходов до созревания в зависимости от суточных сумм радиации и температуры воздуха.

Моделирование *формирования и выноса химического стока* описывается в соответствующих блоках моделей формирования качества воды. В химическом блоке обычно рассматриваются следующие основные процессы:

- для консервативных ЗВ – разбавление (с учетом процессов конвекции и диффузии), растворение, сорбция/десорбция, осаждение/ресуспендирование;
- для неконсервативных ЗВ (например азота и фосфора) дополнительно учитываются процессы трансформации под влиянием биологических/микробиологических и физико-химических факторов.

Процессы конвекции и диффузии ЗВ в потоках (в поверхностном, внутриводном стоке, при миграции раствора в почве и т.д.) могут быть описаны на основе гидродинамических уравнений, используемых в гидрологическом блоке. Процесс сорбции вещества из раствора почвой обычно описывается изотермами сорбции Фрейндлиха или Ленгмюра, которые устанавливают связь между количеством сорбированного вещества и его концентрацией в растворе. Вид изотермы (равновесная или неравновесная, линейная или нелинейная) и ее параметры устанавливаются для конкретного загрязнителя на основе физических экспериментов.

Для описания процесса растворения ЗВ (например, удобрений на поверхности почвы) обычно используются линейные зависимости потока растворенного вещества от разности максимально возможной и текущей концентрации в потоке. Иногда учитывается влияние на концентрацию растворенного вещества его содержание в сорбированном виде на твердых частицах. Процессы трансформации вещества в результате его биологического потребления растениями, гидролиза, распада и других превращений описываются уравнением кинетики. Для большинства ЗВ обычно принимается кинетика первого порядка.

Специализированные комплексные модели, направленные на детальное изучение трансформации биогенных веществ (например, процессов разложения органических веществ, нитрификации и денитрификации, синтеза органики из неорганических веществ и др.) включают дополнительно отдельные блоки, описывающие:

- физиологические процессы почвенных микроорганизмов и влияние на них различных агротехнических приемов обработки почвы;
- влияние особенностей трансформируемых органических веществ и соотношение содержания в них C:N на направленность процессов минерализации/иммобилизации органических веществ;
- производство первичной продукции и влияние на это производство содержания CO₂ в атмосфере и др.

В следующих работах рассмотрены различные аспекты моделирования неконсервативных ЗВ: [Molina et al., 1983; Cabrera et al., 2008; Verberne et al., 1990; McGill et al., 1981; Johnsson et al., 1987; Li et al., 1992; Smith et al., 1997; van Veen and Frissel, 1981; Трофимов и др., 2012; Ларионова и др., 1994; Курганова и др., 2009; Разгулин, 2013; Вавилин и др., 1993; Мамай, 2014; Умаров и др., 2007; Фашевская, Мотовилов, 2017].

Далее приведен краткий обзор известных в мировой практике моделей формирования качества воды в речных бассейнах. Обзор включает модели разного уровня сложности, используемые в различных пространственных и временных масштабах для оценки загрязнения территорий характерными ЗВ. Некоторые пространственно распределенные модели описаны более подробно (в п. 1.2.2.3), также приведены отдельные примеры их применения для исследования формирования загрязнения водных объектов от различных типов диффузных источников, в том числе в условиях изменения климата и землепользования.

1.2.2.1 Модели для сельскохозяйственных территорий

К этой категории относятся модели, на однородном участке сельскохозяйственно освоенной территории (поле, луг, пастбище) описывающие миграцию и трансформацию в почвенном профиле биогенных веществ, вымывание из почвы удобрений и пестицидов и других сельскохозяйственных загрязнителей. В модели входит блок процессов микробиологических преобразований азота (минерализации/иммобилизации, нитрификации, денитрификации), которые описываются уравнениями кинетики первого порядка. Для лучшего описания кинетики процессов используется замена разлагающегося в почве органического вещества на пулы различных видов органических веществ, разлагающихся параллельно. Каждому пулу назначается скорость потенциального разложения, которая определяется на основании экспериментального разложения различных химических компонентов органического материала. Как правило, модели имеют суточный временной шаг моделирования.

Достаточно большое количество моделей сельскохозяйственных территорий, по-видимому, является результатом различий в условиях окружающей среды, методах ведения сельского хозяйства, а также различий в имеющихся исходных данных. В табл. 1.23 приводится краткое описание таких моделей.

Модель **CREAMS** (*Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems*) [Knisel, 1980] – одна из первых концептуальных field scale моделей формирования качества вод, предназначенная для расчета выноса химикатов с площадей с равномерным распределением гидрогеохимических характеристик. Модель включает описание гидрологического, эрозионного и химического блоков и базируется на постулате о том, что водный

фактор является средой, благодаря которой ЗВ мигрируют как в пределах сельскохозяйственных полей (по вертикали и по горизонтали), так и выносятся за их пределы речным стоком. При наличии подробной по времени информации об осадках в гидрологическом блоке для расчета впитывания осадков в почву используется известное уравнение Грина–Эмпта, а поверхностный сток рассчитывается по уравнениям кинематической волны. Если имеются лишь среднесуточные данные об осадках, то поверхностный сток рассчитывается по эмпирическому уравнению в зависимости от осадков, типа почв, предшествующего увлажнения и способа обработки почв. Смыв почвы рассчитывается по модифицированному уравнению USLE [Wischmeier, Smith, 1978], а осаждение наносов предполагается при мутности, превышающей транспортирующую способность потока. В химическом блоке модели рассматривается баланс массы вещества в поверхностной и корневой зонах почвогрунтов. Скорость изменения концентрации вещества в потоке в поверхностном стоке или при инфильтрации воды рассчитывается как линейная функция от разности концентраций в почве и в потоке и пропорционально скорости потока. Для описания процессов сорбции-десорбции используется изотерма равновесной мгновенной сорбции. Рассчитывается вынос химикатов, в частности биогенных элементов, в растворенной и взвешенной формах.

Таблица 1.23

Модели формирования качества воды в речном бассейне (масштаб поля и слоя почвенных вод)

Название модели	Происхождение/ разработчик	Цель разработки/ моделируемые вещества	Степень описания процессов*
ANIMO Agricultural Nitrogen Model	Wageningen University and Research Centre в г. Вагенинген Нидерланды; 1991 [Rijtema & Kroes, 1991]	Выщелачивание азота из почвы в поверхностные и грунтовые воды	механистическая
EPIC Erosion-Productivity Impact Calculator	Министерство сельского хозяйства США (USDA); 1984 [Williams et al., 1984]	Оценка влияния эрозии почвы на ее продуктивность, круговорот биогенных веществ и экономику сельского хозяйства	концептуальная
GLEAMS Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems	Министерство сельского хозяйства США (USDA); 1987 [Leonard et al., 1987; Rekolainen & Posch, 1993; Rekolainen et al., 2000]	Оценка воздействия методов управления на транспорт пестицидов и биогенных веществ через корневую зону растений, оценка поверхностного стока и эрозии	концептуальная

<i>Продолжение таблицы 1.23</i>			
Название модели	Происхождение/ разработчик	Цель разработки/ моделируемые вещества	Степень описания процессов*
CREAMS Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems	Министерство сельского хозяйства США (USDA); 1980 [Knisel, 1980; Leonard and Ferreire, 1984]	Расчет выноса биогенных веществ (растворенных и сорбированных на взвешенных частицах) и их содержания в поровых водах корневой зоны растений	концептуальная
HYDRUS/ SWMS	Министерство сельского хозяйства США (USDA); 1996 [Simunek et al., 1994.; Mailhol et al., 2001]	Анализ движения воды и растворенных веществ в пористых средах с переменной насыщенностью	механистическая
MACRO	Шведский университет сельскохозяйственных наук; 1994 [Jarvis, 1994; Jarvis et al., 2000]	Транспорт растворенных веществ в пахотных почвах	механистическая
PEARL Pesticide Emission Assessment at Regional and Local scales	Alterra Green World Research и Национальный институт общественного здравоохранения и окружающей среды, Нидерланды; 2000 [Leistra et al., 2000]	Трансформация пестицидов в почвенно- растительной системе и оценка их вымывания в подземные воды	концептуальная/ механистическая
PRZM Pesticide Root Zone Model	Агентство по охране окружающей среды США (US EPA); 1984 [Carsel et al., 1984; Alvarez et al., 1997]	Миграция пестицидов в корневой зоне растений	механистическая
SOIL–N (Coup Model)	Шведский университет сельскохозяйственных наук; 1987 [Johnsson et al., 1987; Eckersten & Jansson, 1991; Johnsson and Hoffmann, 1998]	Миграция и трансформация азота в почвенном профиле	механистическая
WAVE Water and Agrochemicals in the soil, crop and Vadose Environment	Лёвенский католический университет, Бельгия; 1995 [Vancllooster et al., 1995; Vancllooster et al., 2000]	Перенос и трансформация воды, тепла и агрохимикатов в вертикальном направлении	механистическая

* Концептуальные модели основаны на статистических и эмпирических связях, лишь отдельные процессы физически обоснованы; в механистических (физически обоснованных) моделях все процессы описаны на основе физических, химических и биологических законов [Arheimer, Olsson, 2002].

ANIMO (*Agricultural Nitrogen Model*) моделирует циклы азота, углерода и фосфора в ненасыщенных и насыщенных почвенных системах. Модель разработана для анализа выщелачивания азота с поверхности почвы в грунтовые и поверхностные воды. Модельная система представляет собой многослойный одномерный грунтовый столб, верхняя граница которого – поверх-

ность почвы, нижняя находится на глубине локального потока подземных вод. Кроме процессов минерализации, иммобилизации, нитрификации и денитрификации в модель добавлены описания процессов, связанных с частичным или временным анаэробиезом, распределением кислорода и температуры в почве, процессов десорбции и адсорбции аммония и фосфора в почвенном комплексе.

Модель **EPIC** (*Erosion-Productivity Impact Calculator*) разработана для оценки влияния эрозии почвы на ее продуктивность и может использоваться для определения влияния различных стратегий управления на почвенные и водные ресурсы и сельскохозяйственное производство. Площадь исследуемого участка территории не должна превышать 100 га и иметь однородные погодные, почвенные условия и системы земледелия. В модели описываются метеорологические и гидрологические процессы, эрозия, круговорот биогенных веществ, транспорт пестицидов, рост растений, изменение температуры почвы, различные способы обработки почвы. Последние усовершенствования модели включают блоки, связанные с качеством воды и глобальным изменением климата: влияние максимального водного стока на формирование твердого стока, влияние содержания CO₂ в атмосфере на рост урожая и водные ресурсы.

SOIL-N (Coup Model) – одномерная модель, описывающая динамику азота и его потери в почвенном профиле пахотных земель. Гидрологическая модель описывает инфильтрацию и движение воды между почвенными слоями, содержание незамерзшей воды в почве и ее температуру. Блок трансформации биогенных веществ включает следующие процессы: минерализацию гумуса, минерализацию/иммобилизацию углеродной и азотной фракций в растительных остатках и навозе; нитрификацию, денитрификацию, выщелачивание нитратов, поглощение биогенов растениями. Все биологические процессы в модели зависят от состояния почвы и температуры. Почва делится на слои, из которых растения получают азот с различной скоростью. Транспорт нитратов определяется как произведение водного стока и концентрации нитратов в почвенном слое. Аммоний в модели считается неподвижным в почвенном профиле. В [Johnsson et al., 2002] приводится пример использования модели SOIL-N для сравнительного анализа выщелачивания нитратов при альтернативных методах ведения сельского хозяйства.

1.2.2.2 Модели для урбанизованных территорий

Одной из первых моделей для описания гидрологических процессов на урбанизованной территории стала модель **STORM** (*Storage, Treatment, Overflow, Runoff Model*), разработанная Гидрологическим инженерным центром (HEC) корпуса инженеров армии США [Roesner et al., 1974]. Модель включает упрощенные процедуры расчета водного стока и качества воды с временным интервалом моделирования в 1 час. На основе данных о слое

выпадающих в течение часа осадков проводится расчет водного стока на основе взвешенного по площади коэффициента стока. Модель не содержит процедуры маршрутизации потока, и расчет движения воды по системе городской канализации в модели отсутствует. Предполагается, что жидкий сток проходит через очистные сооружения, пока их емкость это позволяет. В противном случае ливневой сток отводится во временный резервуар, а при переполнении последнего поступает в приемный водоем без очистки. Таким образом схема моделирует комбинированные перетоки канализации.

В модели предполагается, что накопление ЗВ на городской территории линейно увеличивается, а их смыв описывается экспоненциальной кинетикой первого порядка. Эрозия моделируется с помощью универсального уравнения почвенной эрозии (USLE). Одновременно могут моделироваться концентрации до шести ЗВ, таких как: взвешенные наносы, осаждаемые наносы; органические вещества, фиксируемые по показателю БПК; общие колIFORMные бактерии, ортофосфаты и азот. Поскольку параметры накопления и смыва ЗВ в модели регулируются, то под видом вышеперечисленных могут быть смоделированы другие ЗВ [Modeling ..., 1991].

Первоначальная версия модели **SWMM** (*Storm Water Management Model*) была разработана в 1969–1971 годах при поддержке Агентства по охране окружающей среды США и была ориентирована на расчет ливневого стока в городской канализационной системе для отдельного события – ливня [Storm ..., 1971]. С тех пор она претерпела несколько серьезных обновлений и в настоящее время представляет возможность и для непрерывного моделирования стока [Huber and Dickinson, 1992]. Последняя версия SWMM была подготовлена Отделом водоснабжения и водных ресурсов Национальной исследовательской лаборатории управления рисками Агентства по охране окружающей среды США. Программа находится в открытом доступе и широко используется во всем мире для планирования, анализа и проектирования, связанных с ливневыми стоками, комбинированной и бытовой канализацией и естественными дренажными системами в городских районах. Модель может использоваться: для расчета компонентов дренажной системы для борьбы с наводнениями; расчетов по минимизации комбинированных перетоков канализации, оценки эффективности лучших практик управления (ЛПУ – Best Management Practices) для снижения загрязнения во время дождей; картографирования затапливаемых систем естественных русел и др. Результаты моделирования представляются в виде карт водосборной площади и дренажных систем с цветовой кодировкой, графики и таблицы временных рядов, графики профилей и статистический частотный анализ временных рядов [Rossman, 2009].

В гидрологическом блоке модели учитываются процессы, формирующие сток с городской территории: выпадение осадков, испарение стоячей воды, накопление и таяние снега, инфильтрация осадков с поверхности в горизонты грунтовых вод, переток вод между подповерхностными водами и дренажными системами и др. Для учета пространственной изменчивости

этих процессов городская водосборная территория разделяется на более мелкие, однородные участки, каждый из которых содержит свою долю проницаемых и непроницаемых подобластей. Процесс формирования гидрографа стока моделируется на основе подхода нелинейного резервуара, в котором предусмотрена возможность учета снеготаяния. По желанию пользователя, сток может быть описан и более сложными моделями (кинематическая волна, комплексные динамические уравнения).

В блоке формирования качества воды городского стока учитываются следующие процессы: накопление ЗВ в сухую погоду, непосредственное выпадение загрязненных осадков, смыв накопленных ЗВ во время дождей, снижение накопления ЗВ в сухую погоду за счет уборки улиц и ЛПУ. Процессы формирования качества воды воспроизводятся на основе различных подходов: модель «накопление – смыв», метод рейтинговой кривой, метод постоянных концентраций или модель USLE. В модели предусмотрен блок, моделирующий процессы, происходящие в очистных сооружениях. Предполагается, что очистка стока проходит по кинетике первого порядка, сопряженной с моделями реакторов полного смешения или полного вытеснения, или за счет осаждения взвешенных частиц, которое пропорционально времени нахождения стока в отстойнике.

Маршрутная часть модели транспортирует водный сток и ЗВ через систему каналов, труб, устройств хранения и очистки, насосов и регуляторов. Модель отслеживает количество и качество стока, а также скорость и глубину потока в каждой трубе и канале в течение периода моделирования. В SWMM могут моделироваться следующие типы регуляторов водного потока: отверстия, водосливы и спуски. Отверстия и водосливы используются для моделирования выпускных и отводных конструкций в дренажных системах. Отверстия могут иметь круглую или прямоугольную форму, размещаться внизу или сбоку от узла, расположенного выше по потоку, и иметь заслонку для предотвращения обратного потока. Спуск представляет устройство управления потоком и используется для моделирования особых соотношений напора и расхода, которые нельзя охарактеризовать с помощью насосов отверстий и водосливов.

В разделе 2.2.6 приводится пример применения модели SWMM для оценки формирования диффузного загрязнения с территории г. Ростова (Великого).

1.2.2.3 Универсальные модели

Универсальные модели применяются для исследования формирования качества воды в пределах целых водосборов, включающих территории различных типов: урбанизированные и неурбанизированные (в том числе сельскохозяйственные). Краткий обзор универсальных моделей приведен в *табл. 1.24*. Более подробно описаны пространственно распределенные модели SWIM, HYPE и ECOMAG-HM.

Таблица 1.24

Универсальные модели формирования качества воды в речном бассейне (масштаб водосбора)

Название модели	Происхождение/ разработчик	Цель разработки/ моделируемые вещества	Степень описания процессов*	Распределение	
				во времени	в пространстве
AGNPS AGricultural Non-Point Source pollution model	Министерство сельского хозяйства США (USDA), 1986 [Young et al., 1987]	Исследование влияние эрозии почвы в с/х-ных и городских районах на качество воды; биогенные вещества (азот и фосфор), пестициды	концептуальная	модель одного события (отдельного дождя)	с рассредоточенными параметрами
HBV-N Hydrologiska Byråns Vatten- balansavdelning	Шведский метеорологический и гидрологический институт (SMHI), 1994 [Arheimer & Brandt, 1998; Arheimer & Olsson, 2002]	Контроль эвтрофикации, транспорт азота в пределах водосбора от неточечных и точечных источников	концептуальная	непрерывная	полураспределенная
HSPF Hydrological Simulation Program – FORTRAN	Агентство по охране окружающей среды США (USDA), 1980 [Barnwell, Johanson, 1981; Johanson et al., 1984;]	Моделирование процессов, связанных с количеством и качеством воды, выносом наносов, биогенных веществ, пестицидов, бактерий с городского или сельскохозяйственного водосбора, с проницаемых и непроницаемых участков; перенос и трансформация ЗВ в водном объекте	концептуальная / механистическая	непрерывная	с рассредоточенными параметрами
INCA Integrated Nitrogen in CAtchments	Университет Рединга, UK, 1998 [Whitehead et al., 1998]	Трансформации и миграция азота, контроль эвтрофикации	концептуальная / механистическая	непрерывная	полураспределенная
MAGIC Model of Acidification of Groundwater in Catchments	Департамент наук об окружающей среде, Университет Вирджинии, США, 1985 [Arheimer & Olsson, 2002]	Контроль закисления почвы и воды/ транспорт азота в поровых водах	концептуальная / механистическая	непрерывная	сосредоточенная
MERLIN Model of Ecosystem Retention and Loss of Inorganic Nitrogen	Департамент наук об окружающей среде, Университет Вирджинии, США, 1997 [Arheimer & Olsson, 2002]	Контроль закисления / биогеохимические циклы азота и углерода в экосистемах	концептуальная	непрерывная	с рассредоточенными параметрами

MIKE SHE	Датский гидравлический институт, 1993 [Arheimer & Olsson, 2002]	Анализ, планирование и управление водными ресурсами и спектром экологических проблем	механистическая	непрерывная	распределенная
SHETRAN	Лаборатория исследования систем водных ресурсов, Университет Ньюкасла, UK; 1996 [Birkinshaw, Ewen, 2000]	Изучение экологических последствий загрязнения на водосборе, эрозии, изменений в землепользовании и климате	механистическая	непрерывная	распределенная
SMART Simulation Model for Acidification's Regional Trends	Вагенингенский университет, Нидерланды, г. Вагенинген; 1989 [Arheimer & Olsson, 2002]	Изучение регионального закисления почвы и круговорота биогенных веществ	механистическая	годовой временной шаг	—
SWAT Soil and Water Assessment Tool	Министерство сельского хозяйства США (USDA), 1993 [Arnold et al., 1993; Arnold et al., 1994; Ambrose et al., 2009]	Прогноз влияния управленческих решений на качество воды, наносы, биогенные вещества и пестициды для крупных и сложных речных бассейнов	концептуальная / механистическая	непрерывная, ежемесячная или годовая	распределенная

* Концептуальные модели основаны на статистических и эмпирических связях, лишь отдельные процессы физически обоснованы; механистические (физически обоснованные) модели, в которых все процессы описаны на основе физических, химических и биологических законов [Arheimer, Olsson, 2002]

SWIM (*Soil and Water Integrated Model*) пространственно распределенная концептуальная динамическая модель речного бассейна, с непрерывным шагом по времени моделирующая гидрологические процессы, биогеохимические циклы биогенных веществ (азота и фосфора), рост сельскохозяйственных культур и естественной растительности, эрозию и транспорт наносов. Модель разработана в Потсдамском институте исследований климатических изменений на основе моделей SWAT и MATSALU (рис. 1.17).

Модель MATSALU, разработанная на основе CREAMS и имеющая структуру, аналогичную SWAT, была использована для оценки различных сценариев управления эвтрофированием сельскохозяйственного бассейна залива Матсалу площадью 3500 км² на побережье Балтийского моря в Эстонии [Krysanova et. al., 1989].

В течение нескольких лет (1996–1999 гг.) SWIM подвергалась всесторонним испытаниям и валидации в ряде мезомасштабных бассейнов в Германии (в основном относящихся к бассейну р. Эльбы) в отношении моделируемых процессов. В результате исследований модель была рекомендована

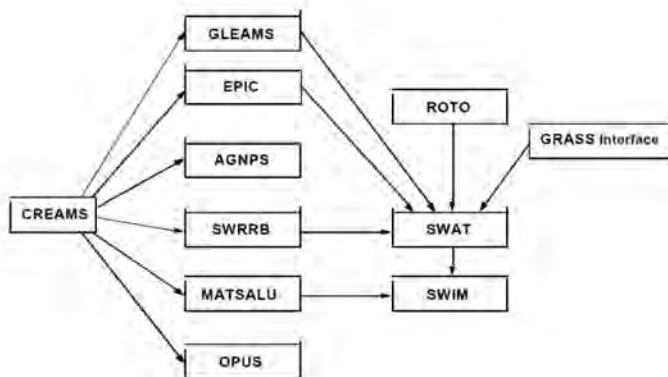


Рис. 1.17. Разработка моделей на основе CREAMS

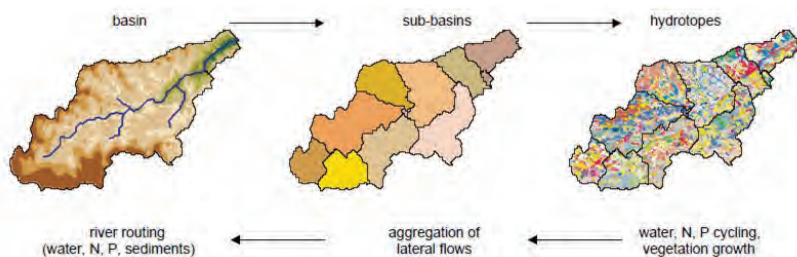


Рис. 1.18. Трехуровневая схема дезагрегирования речного бассейна «бассейн – суббассейн – гидротоп», реализованная в SWIM

к применению в речных бассейнах с площадью 100–10000 км², которые можно параметризовать с помощью информации, доступной в регионе [Krysanova et al., 1998a; Krysanova et al., 1998b].

Как и модель MATSALU, SWIM имеет трехуровневую схему дезагрегирования области моделирования «бассейн – суббассейны – гидротопы» (рис. 1.18) и связана с ГИС GRASS. Исследуемый бассейн делится на суббассейны с приемлемой средней площадью, затем каждый суббассейн – на гидротопы, имеющие одинаковые землепользование и тип почвы и соответствующие «единицам гидрологического отклика» Флюгеля (Hydrologic Response Units, HRU – Flügel) [Flügel, 1995].

SWIM состоит из четырех модулей: гидрологического, динамики биогенов, роста растительности и транспорта наносов [SWIM..., 2000]. Моделируемая гидрологическая система состоит из четырех слоев: поверхностного слоя почвы, корневой зоны растений (0–2 м), неглубокого слоя грунтовых вод и глубокого слоя подземных вод. В гидрологическом блоке учитываются следующие процессы: выпадение осадков, накопление и таяние снега,

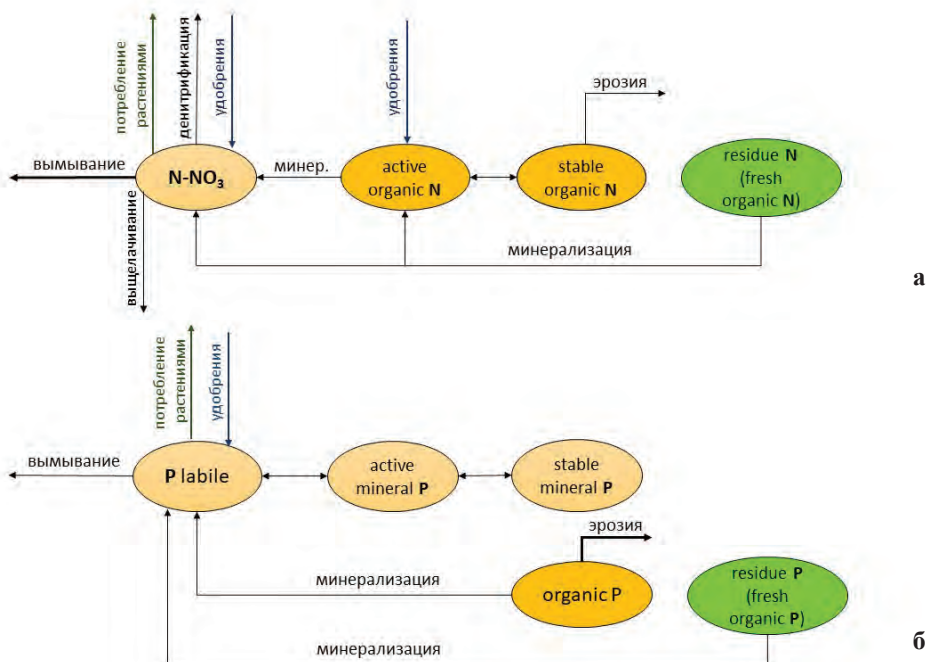


Рис. 1.19. Схема блоков и потоков азота (а) и фосфора (б), реализованных в SWIM

формирование поверхностного стока, эвапотранспирация, просачивание осадков в почву и формирование подповерхностного стока, капиллярный подъем, боковой приток и формирование стока подземных вод.

Комплекс процессов, происходящих в почве с азотом и фосфором, сводится к перемещению веществ между пулами. Модуль *динамики биогенов* включает четыре азотных пула (нитратный азот (N-NO₃), активный (active organic N) и стабильный (stable organic N) органический азот, свежий органический азот растительных остатков (fresh organic N)) и пять пулов фосфора (подвижный минеральный фосфор (P labile), активный (active mineral P) и стабильный (stable mineral P) минеральный фосфор, органический фосфор (organic P) и фосфор растительных остатков (fresh organic P)) (рис. 1.19). Учитывается внесение азота и фосфора с удобрениями и моделируются следующие процессы: растительное поглощение биогенов, их минерализация, денитрификация (для N), сорбция/десорбция (для P), транспорт поверхностным и подземным стоком, выщелачивание (для N) в грунтовые воды и потеря с эрозией (в основном для P). Нитратный азот (N-NO₃) и растворимый минеральный фосфор (P labile) рассматриваются в модели как консервативные [Williams, 1980].

Модель минерализации азота SWIM является модификацией модели минерализации PAPRAN [Seligman and van Keulen, 1991]. Источником активного (легко минерализуемого) (active organic N) и стабильного (stable organic N) органического азота является почвенный гумус. Поток органического азота между этими двумя пулами регулируется уравнением равновесия.

Минерализуются пулы active organic N и fresh organic N, связанный с растительными остатками. Минерализация пула active organic N зависит от температуры почвы и влажности. Минерализация/иммобилизация пула fresh organic N является функцией отношений C:N и C:P, температуры почвы и содержания в ней влаги. Поток минерализованного из растительных остатков азота распределяется между пулами нитратного азота $N-NO_3$ (80%) и active organic N (20%) (рис. 1.19).

Модель минерализации органического фосфора структурно аналогична модели минерализации азота. Для поддержания баланса фосфора в конце каждого дня количество минерализованного фосфора из гумусового пула organic P вычитается из него и добавляется в пул минерального фосфора; преобразованный фосфор растительных остатков распределяется между пулами organic P (20%) и P labile (80%).

Сорбция/адсорбция минерального фосфора происходит в соответствии со следующей схемой. Минеральный фосфор распределяется между тремя пулами: подвижный фосфор (P labile), активный (active mineral P) и стабильный (stable mineral P) минеральный фосфор. Поток минерального фосфора между пулами active mineral P и stable mineral P регулируется уравнением равновесия, в предположении, что пул stable mineral P в четыре раза больше. Поток фосфора между пулами active mineral P и P labile регулируется уравнением равновесия, предполагающим их равное распределение.

Денитрификация как один из микробных процессов является функцией температуры и содержания воды, происходит только в условиях дефицита кислорода, что обычно имеет место при влажной почве. Скорость денитрификации оценивается как функция влажности и температуры почвы, органического вещества, коэффициента влажности почвы и содержания минерального азота.

Модуль *роста растительности* включает уникальные значения параметров для более чем 70 типов сельскохозяйственных культур (пшеница, ячмень, кукуруза, люцерна, картофель и др.) и естественной растительности («трава», «пастбище», «лес» и др.), которые были получены в различных полевых исследованиях. В модели используется концепция фенологического развития сельскохозяйственных культур, учитывающая такие параметры, как: соотношение биомассы и энергии, индекс урожая, базовая и оптимальная температура для роста растений, максимальный индекс площади листа (Leaf Area Index – LAI), доля периода вегетации, когда LAI снижается, максимальная глубина корней, потенциальные единицы тепла, необходимые для созревания урожая и др.

Потребление азота и фосфора растениями оценивается с использованием подхода «спрос–предложение». Для каждой культуры в базе данных указаны шесть параметров: нормальные доли азота и фосфора в биомассе растений без всходов семян, при 0,5 зрелости, при созревании. Затем рассчитываются оптимальные концентрации азота и фосфора в культуре как функции стадии роста. Суточная потребность сельскохозяйственных куль-

тур в питательных веществах оценивается как продукт роста биомассы и оптимальной концентрации в растениях. Фактическое поглощение азота и фосфора составляет минимум спроса и предложения. Растение поглощает питательные вещества из любого почвенного слоя, в котором расположены корни. Поглощение начинается с верхнего слоя и продолжается вниз, пока суточный спрос не будет удовлетворен или пока все питательные вещества не будут исчерпаны. В модели предусмотрена возможность корректировки чистой продуктивности фотосинтеза, в том числе с учетом соотношения содержания CO_2 в атмосфере и температуры воздуха.

Почти так же, как и в SWAT, *вынос наносов* для каждого суббассейна рассчитывается с помощью модифицированного универсального уравнения почвенной эрозии (Modified USLE) [Williams & Berndt, 1977]. Отличие состоит в том, что поверхностный сток, коэффициент эродированности почвы (или индекс смываемости) K и хозяйственно-агрономический фактор (cropping-management factor) C рассчитываются для каждого гидротопы, а затем усредняются для суббассейна.

В отличие от SWAT, использующей для маршрутизации воды метод ROTO, в SWIM реализуется новая процедура, основанная на методе Muskingum [Maidment, 1993]. В последние годы в SWIM было добавлено несколько расширений: для процессов на водно-болотных угодьях [Hattermann et al., 2006], роста лесов [Wattenbach et al., 2005] и динамики углерода в почве [Post et al., 2007].

В [Hesse & Krysanova, 2016] описан успешный опыт использования SWIM для оценки последствий социально-экономических и климатических изменений на речную систему всего бассейна реки Эльбы площадью ~150000 км². Анализ 19 климатических сценариев (ENSEMBLES climate scenarios) показал среднее повышение температуры (+3°C) и осадков (+57 мм) в регионе до конца столетия, что привело к изменениям в речном стоке (+20%) и биогенной нагрузке ($\text{NO}_3\text{-N}$: -5%; $\text{NH}_4\text{-N}$: -24%; $\text{PO}_4\text{-P}$: +5%). В работе в SWIM был добавлен новый модуль процессов потребления биогенных веществ и кислорода, а также роста водорослей внутри речного потока. Результаты расчетов показали снижение биомассы фитопланктона (-4%) и содержания растворенного в воде кислорода (-5%) до конца столетия. Также было исследовано влияние некоторых изменений в землепользовании и управлении биогенными веществами с целью снижения их поступления в речную сеть.

HYPE (*HYdrologic Predictions in the Environment*) – динамическая, полураспределенная, физически обоснованная модель, с непрерывным шагом моделирования во времени. Модель описывает процессы формирования водного стока и связанного с ним стока биогенных веществ (азота и фосфора) в пределах водосбора, их трансформацию в реках и озерах [Lindström et al., 2010].

Модель разрабатывалась в период 2005–2007 гг. в SMHI (Шведском институте гидрологии и метеорологии) для условий окружающей среды Шве-

ции. Отправной точкой был опыт применения HBV [Bergström, 1976; Lindström et al., 1997]; HBV–NP [Andersson et al., 2005; Arheimer et al., 2005], и, соответственно, части модели HYPE основаны на этих моделях. При разработке новой модели большое внимание было уделено созданию гибкой системы моделирования, в которой можно разрабатывать и тестировать различные гидрологические модели, а также разработке и применению модели водного баланса в рамках этой системы для всей Швеции. Система моделирования была написана на FORTRAN95 и названа HYSS (HYdrological Simulation System). Ряд различных процедур для оптимизации и анализа чувствительности, например, моделирование по методу Монте-Карло, были включены в систему [Pers et al., 2006]. Весь моделирующий комплекс получил название HYSS–HYPE. Гибкая система моделирования, наличие альтернативных встроенных моделей для основных составляющих водного, химического баланса и процессов транспорта воды и химических веществ, простой формат входных файлов и открытость кода относятся к преимуществам модели. Например, для расчета процессов испарения в комплексе предусмотрено пять различных моделей.

При использовании HYPE область моделирования делится на суббассейны с произвольной степенью детальности, которые могут быть независимыми или связанными реками и региональным потоком подземных вод. Каждый суббассейн, в свою очередь, делится на классы, которые соответствуют HRU – Flügel, использующимся в модели HBV. Классы задаются в виде доли площади для каждого подбассейна [Pers, 2014].

В модели выделяют классы земли и классы рек/озер. Классы земли – это различные комбинации типов почвы, землепользования и высоты рельефа местности. Используется разделение на три типа почв (например, глинистые почвы, грубые почвы и пахотные почвы) и десять типов землепользования. По вертикали почва делится на один (в лесах) – три (в сельскохозяйственных районах) слоя, которые могут иметь разную глубину. Площадь, занятая сельскохозяйственной культурой, постоянна в течение периода моделирования (севооборот не моделируется). Классы земель с различными высотами используются для учета температурных и условий формирования снежного покрова в пределах суббассейна.

Реки и озера подразделяют на два класса – внутренние/локальные и главные реки и озера. Внутренние реки и озера получают только локальный сток из суббассейнов. Главные реки и озера соединяют между собой суббассейны и принимают локальный сток (после его прохождения через внутренние реки и озера) и речной сток из суббассейнов, расположенных выше по течению. Главные озера располагаются непосредственно на главной реке водосбора. Площадь озер (в отличие от площади поверхности рек) учитывается при расчетах осадков, выпадающих непосредственно на акваторию, и испарения.

Входными метеорологическими данными являются среднесуточные значения температуры и количества осадков в каждом подбассейне, в пределах

которого моделируются формирование и таяние снежного покрова, промерзание и оттаивание почвы, инфильтрация, испарение и эвапотранспирация, движение воды по поверхности и в различных почвенных горизонтах, движение грунтовых вод и региональный поток подземных вод, уровень грунтовых вод и воды в озерах. Образующийся в пределах суббассейна водный сток поступает вначале во внутреннюю речную сеть, а затем в сеть главных русел. Обе речные сети имеют независимые друг от друга параметры.

Транспорт биогенных веществ на водосборе происходит вместе с водным стоком и делится на группы процессов, связанных: с поступлением азота и фосфора в составе минеральных и органических удобрений, потреблением растениями, трансформацией в почвенном покрове, выносом со взвешенными веществами и водным стоком и преобразованиями в процессе транспорта по речной/озерной сети.

Пулы и процессы трансформации биогенных веществ в модели HYPE с небольшими упрощениями аналогичны таковым в моделях SOIL-N [Johnsson et al., 1987], ANIMO [Groenendijk & Kroes, 1999] и ICECREAM [Tattari et al., 2001]. В верхнем почвенном слое выделяют неподвижные и подвижные пулы азота и фосфора. Водный сток транспортирует биогенные вещества из подвижных пулов.

Для азота моделируются два неподвижных пула органического азота (slowN и fastN) и два подвижных пула: неорганического (IN) и органического азота (ON). Пул slowN представляет собой органический азот в почве (в составе гумуса) с длительным временем разложения. В результате разложения органический азот из пула slowN поступает в пул fastN с более коротким временем круговорота. Азот из пула fastN минерализуется и переводится в пул неорганического азота IN. Весь азот в пуле IN является мобильным, растворимым, частично поглощается растениями, частично денитрифицируется, а также транспортируется между слоями почвы или вне профиля с горизонтальным и боковым потоками воды. Из пула fastN органический азот также может поступать в почвенный раствор; этот массоперенос ограничен равновесной концентрацией между содержанием ON в почвенном растворе и в пуле fastN.

Для фосфора моделируются пулы: два неподвижных органического фосфора (slowP и fastP) и два подвижных – растворимого неорганического фосфора (SP) и взвешенного фосфора, адсорбированного на минеральных частицах почвогрунта (partP). Перенос фосфора между пулами slowP и fastP и fastP и SP аналогичен преобразованиям азота, перенос фосфора между пулами SP и partP регулируется процессами адсорбции и десорбции. Переход между пулами SP и partP регулируется разницей между концентрацией SP в почвенном растворе и равновесной концентрацией, рассчитанной с использованием модифицированной изотермы сорбции Фрейндлиха [Lindström et al., 2010].

Предполагается, что в результате эрозии почвы происходит поступление в водные объекты почвенных частиц PP, содержащих минеральный фосфор

из пула partP и органический фосфор из пула slowP. Модельное представление эрозии учитывает процесс отрыва частиц и их транспорт. Отрыв моделируется с использованием модели Моргана–Моргана–Финнея [Morgan, 2001], частично переработанной для соответствия временному шагу HYPE. Частицы отделяются с поверхности почвы одним из механизмов: отрыв дождевыми каплями или за счет абразивной способности поверхностного стока. Дождевая эрозия зависит от количества и интенсивности выпадающих осадков, эродируемости почвы и степени ее покрытия растительностью. Плоскостной смыв зависит от величины локального поверхностного стока, уклона подбассейна, свойств почвы (ее плотности и порозности, размываемости/сцепления), покрытия различными типами растительности.

Азот и фосфор, поступающие с водосбора в реки и озера, подвержены влиянию нескольких процессов, изменяющих их количество и форму в водных объектах. Процессы, описываемые в модели: седиментация (осаждение), ресуспендирование/взмучивание, производство первичной продукции, минерализация и денитрификация (для IN). Предполагается полное смешение воды в озерах на каждом временном шаге. В озере органический азот ON и взвешенный фосфор partP удаляются из объема воды в результате осаждения, количество биогенных веществ, удаленных на каждом временном шаге, зависит от их содержания в озере. Предполагается, что ни одно из осажденных веществ в озерах не будет ресуспендировано. В реках твердые partP перераспределяются с течением времени посредством процессов седиментации и ресуспендирования. На процессы влияют расход воды в реке, глубина и площадь дна речного русла. Направленность процессов производства первичной продукции/минерализации определяется температурой воды и ее текущим изменением, средней общей концентрацией биогенов. Процесс активен в полном объеме реки и только до определенной глубины в озерах. Предполагается, что адсорбция/десорбция фосфора также включена в это превращение. Денитрификация рассчитывается в зависимости от температуры воды, концентрации IN в водоеме и площади поверхности озера или реки.

В [Ясинский, 2019] модель HYPE впервые применена на территории России для исследования формирования стока фосфора в бассейне верхней р. Москвы (выше Можайского водохранилища). Расчеты показали, что модель HYPE хорошо воспроизводит ежедневные расходы воды в замыкающем створе водосбора (р. Москва – дер. Барсуки) и удовлетворительно – величины годового и сезонного биогенного стока. По результатам моделирования определено, что отмена внесения удобрений приведет к снижению сезонного стока фосфора на 5–12%, годового стока валового фосфора на 7–8%. Установлено, что в генетической структуре стока валового фосфора 60–80% составляет почвенный сток. Склоновая и грунтовая составляющие оказались сопоставимы по величине. Построены карты модулей выноса растворенного и валового фосфора с суббассейнов в различные сезоны года и в различные по водности годы.

Одной из первых отечественных моделей формирования стока и качества воды на речном водосборе является модель **ECOMAG–HM** (*ECOLOGical Model for Applied Geophysics – Heavy Metals*) – динамическая пространственно распределенная физически обоснованная модель с непрерывным шагом, моделирующая формирование содержания тяжелых металлов (консервативных ЗВ). Модель состоит из двух основных блоков: гидрологической и гидрохимической моделей.

Начальная версия гидрологической модели была разработана в Институте водных проблем РАН в 1992 г. [Мотовилов, Гельфан, 2018]. Во второй половине 1990-х гг. проходило интенсивное совершенствование модели: проведены комплексные испытания разработанных алгоритмов по учету пространственных неоднородностей в процессах формирования стока; разрабатывалась прикладная моделирующая система, включающая технологическое и информационное обеспечение математической модели; разрабатывался гидрохимический блок модели.

В настоящее время модель ECOMAG–HM является составной частью Информационно-моделирующего комплекса (ИМК) ECOMAG, в который входят: гидрологический и гидрохимический расчетные модули, тематические цифровые электронные карты различных масштабов, цифровые модели рельефа (ЦМР) различного пространственного разрешения, технология разбиения водосборной площади на элементарные водосборы и схематизации речной сети, базы данных характеристик подстилающей поверхности, базы данных гидрометеорологической информации, средства управления базами данных и геоинформационной обработки пространственной информации и управляющая оболочка с дружественным интерфейсом [Мотовилов, 2010].

В соответствии с базовой архитектурой модели вся территория речного бассейна разбивается нерегулярной сеткой на отдельные расчетные элементы – элементарные водосборы с учетом особенностей рельефа и структуры речной сети [Мотовилов, 2016]. Процессы в пределах каждого расчетного элементарного водосбора описываются системой дифференциальных уравнений, большая часть которых получена путем интегрирования по пространству базисных уравнений детальных физико-математических моделей либо привлечением иных упрощенных схем описания процессов, разумных в принятых пространственно-временных масштабах. В пределах каждого элементарного водосбора гидрологические и гидрохимические процессы моделируются для четырех уровней (*рис. 1.20*): для поверхностного слоя почвы (горизонта А), подстилающего его более глубокого слоя (горизонта В), емкости грунтовых вод и емкости в зоне формирования поверхностного стока. В холодный период добавляется емкость снежного покрова.

Гидрологическая модель описывает процессы гидрологического цикла по следующей схеме (*рис. 1.20а*). В летний период выпадающие жидкие осадки частично перехватываются растительностью, частично попадают на поверхность почвы, инфильтруются и проникают в более глубокие почвен-

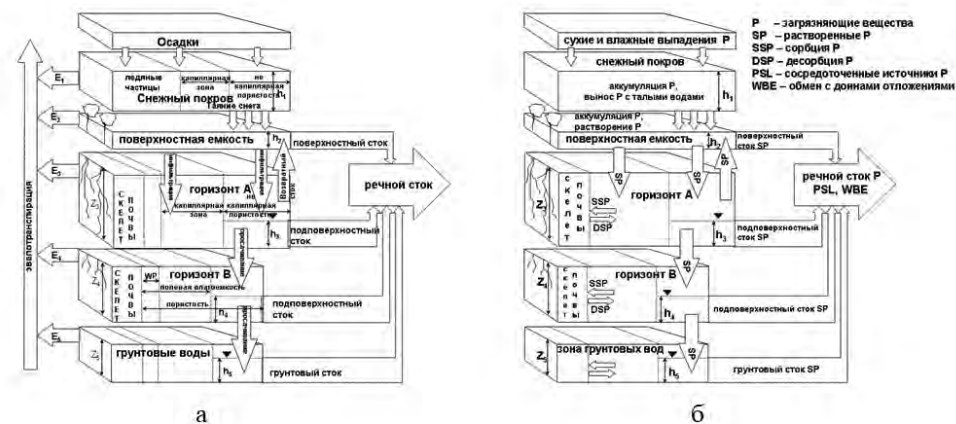


Рис. 1.20. Структура гидрологического (а) и гидрохимического (б) блоков модели ECOMAG-НМ

ные слои. Общая пористость почвы делится на две части: капиллярную и некапиллярную зоны. Избыток влаги, не поглощенной почвой, после заполнения поверхностных депрессий перемещается по уклону земной поверхности в речную сеть (поверхностный сток). Из капиллярной зоны вода теряется только за счет эвапотранспирации. Предполагается, что в условиях высокого содержания влаги в почве фактическая эвапотранспирация равна потенциальному испарению, а затем линейно уменьшается до нуля при влажности почвы, равной точке завядания [Feddes et al., 1974]. Потенциальное испарение оценивается по формулам Дальтона с использованием данных о температуре и влажности воздуха. Часть воды, впитавшейся в почву, перемещается по уклону в речную сеть по относительно непроницаемым водоупорам. Другая часть воды проникает в зону подземных вод и участвует в формировании базисного стока. Подповерхностный и подземный сток описываются уравнением Дарси, а поверхностный и речной сток – уравнением кинематической волны. В холодные периоды года схему дополняют гидротермические процессы: формирования снежного покрова и снеготаяния, промерзания и оттаивания почвы, инфильтрации незамерзшей воды в мерзлый грунт. Фазовый состав осадков определяется среднесуточной температурой воздуха и пороговой температурой. Скорость таяния снега рассчитывается методом градусо-дней [Motovilov, 2013].

Гидрологическая модель ECOMAG была протестирована на речных бассейнах в России, Норвегии, Швеции, Франции и Канаде, расположенных в разных физико-географических зонах с различными условиями формирования стока, типами питания и гидрологического режима водных объектов [Motovilov, 1999a,б; Мотовилов, 2016; Motovilov, 2017; Мотовилов, Гельфан, 2018].

Гидрохимическая модель описывает процессы миграции и трансформации консервативных ЗВ в речном бассейне с учетом следующих процессов (рис. 1.20б). ЗВ могут поступать в водные объекты из источников, располо-

женных на поверхности земли, внутри почвы или в зоне грунтовых вод, а также выпадать на поверхность земли из атмосферы в виде влажных и сухих осадений. Во время осадков и таяния снега ЗВ на поверхности земли частично растворяются в дождевой или талой воде. Процесс растворения ЗВ жидкими осадками и талыми водами описывается линейной зависимостью потока растворенного вещества от разности максимально возможной и текущей концентрации в потоке. Часть растворенных веществ удаляется с поверхностным стоком. Скорость поступления растворенных ЗВ в поверхностный поток рассчитывается как линейная функция от разности их концентраций в почве и в потоке. Другая часть растворенных ЗВ проникает в почву с просачивающейся водой. В почве происходит взаимодействие между почвенным раствором и твердой фазой почвы. ЗВ из почвенного раствора могут сорбироваться твердыми частицами почвенной матрицы или поступать в почвенный раствор с твердых частиц. Процесс сорбции-десорбции химических веществ почвой описан линейной изотермой сорбции Фрейндлиха, которая предполагает, что характерное время переноса вещества потоком намного больше характерного времени сорбции, и устанавливает связь между количеством сорбированного вещества и его концентрацией в растворе. Предполагается мгновенное и полное перемешивание веществ в растворе.

Режим растворенных ЗВ в речном бассейне зависит от интенсивности гидрологических процессов. Поэтому гидрологические характеристики, определяемые в гидрологической модели, используются как входы для гидрхимической модели. ЗВ переносятся поверхностным, подповерхностным, грунтовым и речным стоком с элементарных водосборов в речную сеть. В модели также учитываются: поступление ЗВ от точечных источников – выпусков сточных вод; обмен ЗВ в речном русле между водным потоком и донными отложениями. Уравнения, алгоритмы и результаты испытания этого блока модели описаны в работах [Motovilov, 2013; Мотовилов, Фашчевская, 2018; Motovilov, Fashchevskaya, 2019].

В работах [Motovilov, 2013; Мотовилов, 2015] была проведена верификация модели ЕСОМАГ–НМ для двух небольших речных бассейнов на северо-западе Кольского полуострова, подверженных интенсивному загрязнению никелем предприятиями комбината «Печенганикель» и на протяжении многих лет являющихся одними из самых загрязненных тяжелыми металлами в России. В этих работах впервые сделана попытка оценить вклад различных антропогенных составляющих в загрязнение речных вод никелем: непосредственные сбросы в речную сеть, выбросы в атмосферу и осадение на земную поверхность, загрязнение почвенно-грунтовой толщи за длительный период работы комбината. В работах [Motovilov, Fashchevskaya, 2019; Мотовилов, Фашчевская, 2018] модель верифицирована на примере крупного речного бассейна Нижнекамского водохранилища, в водотоках которого отмечаются высокие концентрации тяжелых металлов. В разделе 2.2.2 приводится продолжение исследований о влиянии различных процессов, происходящих в речном бассейне, на загрязнение речных вод медью,

цинком и марганцем. В разделе 4.3 описывается использование модели ЕСОМАГ–НМ в составе комплекса из трех моделей для исследования реакции экологического состояния Куйбышевского водохранилища на природные изменения и антропогенные воздействия.

1.3 МОНИТОРИНГ ДИФФУЗНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Как было показано ранее, диффузное загрязнение водных объектов может возникать как из точечных источников: выбросы в атмосферу крупными промышленными предприятиями, относительно небольшими, но имеющими широкое распространение источниками, включая транспортные средства, бытовые системы отопления, предприятия по сжиганию отходов, так и от неточечных источников, связанных в основном с использованием подведомственных хозяйствующим субъектам территорий и структурой землепользования. Многие ЗВ при этом имеют преимущественно антропогенное происхождение, хотя в отдельных случаях могут поступать и из естественных источников, например, некоторые металлы в почвообразующих породах недалеко от рудных месторождений и т.д.

В случае неточечных источников ЗВ чаще всего попадают в водный объект опосредованно (возможное исключение из этого правила – судоходство и аварийные ситуации): путем поверхностного смыва с трудно проницаемых территорий, таяния загрязненного снега, в результате инфильтрации через загрязненные почвогрунты и складированные отходы производства, выноса в результате эрозионных процессов на водосборе и из донных отложений. Таким образом, опосредованность – один из ключевых признаков диффузного загрязнения. Другим его ярко выраженным признаком является периодичность пиковых нагрузок на водную среду, которая обусловлена климатическими особенностями в пределах водосборной территории водного объекта и, соответственно, его гидрологическим и гидрохимическим режимом. Эти черты во многом определяют подходы к организации мониторинга.

С практической точки зрения видятся, по крайней мере, две основные задачи, на решение которых должна быть направлена любая программа мониторинга диффузного загрязнения, а именно:

- 1) выявление неконтролируемых источников и статистически достоверная количественная оценка их вклада в общее загрязнение природных вод;
- 2) оценка эффективности внедряемых технологий, экологически ориентированных практик землепользования и мероприятий по предотвращению и снижению диффузного загрязнения водных объектов, выполняемых на их водосборах.

Проблема в том, что ни одна из них не может быть решена в полной мере, если ориентироваться исключительно на данные режимных наблюдений за

качеством воды в водном объекте или на его отдельном участке, которые отражают интегральное воздействие всех источников загрязнения, включая сосредоточенные выпуски промышленных предприятий и очистных сооружений хозяйственно-бытовых сточных вод. Как в случае диффузного загрязнения, так и в случае сосредоточенного сброса ЗВ качество воды может характеризоваться ухудшением одних и тех же измеряемых показателей. Например, источниками патогенных микроорганизмов и их индикаторов (общих колиформных бактерий) могут служить сточные воды предприятий коммунального хозяйства, животноводческие комплексы, территории высокой рекреационной нагрузки, места фекального загрязнения, формирующиеся при выгуле домашних животных и др. Поэтому одним из необходимых условий организации мониторинга диффузного загрязнения является знание структуры водосбора в отношении субъектов хозяйственной деятельности и факторов загрязнения в его пределах. Иными словами, гидрохимический мониторинг должен сопровождаться инспекционным контролем водосборной территории на предмет выявления факторов антропогенного воздействия и характера землепользования, ведущих к загрязнению. Это очень важный раздел мониторинга, без которого, как правило, сложно объективно интерпретировать изменения качества воды в водных объектах и оценивать направленность развития их экосистем, а также действенность тех или иных природоохранных мероприятий.

С подходами к решению этих задач можно ознакомиться в ряде отчетов Агентства по охране окружающей среды США; отчеты подготовлены по результатам реализации проектов государственной программы мониторинга, финансируемых из федерального и местных бюджетов по всей стране согласно ст. 319 Закона «О чистой воде» [Lombardo et al., 2000; Spooner et al., 2011].

Для этого по всей стране были отобраны несколько десятков репрезентативных речных водосборов для проведения исследований, реализация которых специально финансировалась и технически поддерживалась. Такая сфокусированность имела своей целью более глубокое понимание процессов формирования и транспорта загрязнений от неточечных источников в реальных полевых условиях с последующей передачей полученного опыта на государственном и локальном уровнях для решения проблем качества воды на других водных объектах.

Суть исследовательских работ в рамках программы мониторинга заключалась во внедрении на каждом из водосборов наилучших практик управления хозяйственной деятельностью в целях минимизации воздействия на природную среду или, другими словами, методов эффективного землепользования. Одновременно выполнялся контроль качества воды. Сочетание контроля в водном объекте с тщательно продуманными природоохранными мероприятиями является неотъемлемым компонентом всех рассматриваемых программой мониторинга проектов (речных водосборов). Для всех проектов была реализована следующая принципиаль-

ная схема контроля: двухлетний контроль качества в период до проведения каких-либо мероприятий на водосборе, последующее выполнение таких мероприятий и мониторинг в течение дополнительных 3–6 лет. В общей сложности весь период исследований по каждому частному водосбору длится от 5 до 10 лет. Статистическая обработка полученных таким образом данных, их сравнение и анализ для периодов до и после проведения специальных мероприятий позволяют дать оценку тому, могут ли наблюдающиеся изменения качества воды быть отнесены на счет природоохранных мероприятий. Следует отметить, что на постпроектной стадии подавляющее большинство водосборов показало улучшения в качестве воды.

Выбор экспериментальных водосборов осуществлялся Агентством по охране окружающей среды США на основании предложений, выработанных его региональными подразделениями совместно с правительствами отдельных штатов. Окончательное решение по реализации проектов из перечня предложенных принималось на основании целого ряда критериев, включая следующие:

- наличие выявленных проблем качества воды или угроз его ухудшению с перечнем приоритетных ЗВ, подтвержденных предшествующими наблюдениями;
- наличие неточечных источников загрязнения и соответствующей хозяйственной деятельности, которая может быть контролируема, принимая во внимание внедрение наилучших природоохранных технологий;
- особенности водосборной территории, включая «оконтуривание» проблемной территории, а также наличие подробной информации по использованию земель в пределах частного водосбора;
- план землепользования с учетом конкретных мест возможного применения природоохранных технологий и временных затрат на их внедрение;
- проект мониторинга качества воды;
- план оценки и предоставления отчетности.

Водосборы подбирались таким образом, чтобы водные ресурсы, формируемые в их пределах, сами по себе имели определенную ценность, а также с учетом того, чтобы в улучшении качества воды были заинтересованы «на местах», что обеспечивало дополнительный стимул к организации исследований.

Накопленный в исследованиях опыт позволяет сформулировать некоторые ключевые рекомендации по разработке систем мониторинга подобного рода.

Так, для организации и управления программами мониторинга следует, прежде всего, определить ясные роли и ответственность администраций федерального, территориального и муниципального уровней, что должно способствовать межведомственной кооперации и эффективной координации работ. Для поддержания долгосрочного выполнения про-

грамм предпочтительна также вовлеченность всех основных профильных ведомств и владельцев земли и/или землепользователей в выборе экспериментальных водосборов и планировании работ. Важна также тесная координация между работами по контролю качества воды и природоохранными практиками, применяемыми на водосборной территории, и задействованным в этих работах персоналом. В силу того, что, как уже было показано, мониторинг за диффузным загрязнением рассчитан на относительно длительный период, следует опираться на надежные схемы финансирования исследований. Короткий период финансирования и ориентирование на требование проведения ежегодных тендеров и конкурсов на выделение денежных средств может не обеспечить полноту природоохранной деятельности и необходимую длительность работы вовлеченных в исследования групп специалистов и постоянство их состава, что в конечном итоге негативным образом скажется на эффективности всей работы в целом.

1.3.1 Методы получения информации

Для выявления факторов диффузного загрязнения требуется информация как о пространственной, так и временной изменчивости хозяйственной деятельности.

К основным методам получения информации о ведении хозяйственной деятельности на водосборной территории можно отнести следующие:

- непосредственное наблюдение (визуальный контроль);
- официальные отчеты;
- ведение специальных журналов;
- интервьюирование;
- данные дистанционного зондирования Земли (космоснимки и аэрофото-съемка).

К внешним (первичным) признакам, по которым можно судить о наличии высокого риска диффузного загрязнения при непосредственном обследовании водного объекта, его берегов и водосборной территории относятся [Полянин, 2020]:

- визуально различимые пятна горюче-смазочных материалов на поверхности воды, твердых покрытиях, почве;
- шлейфы мутной воды вдоль берега или на акватории, формирование первичной ручейковой сети с характерным запахом, высоким содержанием взвешенных в воде веществ и нефтепродуктов, разливы из общесплавной системы канализации (рис. 1.21 «а»);
- наличие складированных открытым способом, рассыпанных по поверхности земли отходов производства, навоза и помета, сыпучих строительных и лакокрасочных материалов, химикатов (рис. 1.21 «б» и «в»);



Рис. 1.21. Примеры источников диффузного загрязнения при визуальном обследовании водосборной территории (малые реки в бассейне р. Москвы)

- наличие участков с нарушенным почвенным покровом, открытой почвой в отсутствие травянистой и кустарниковой растительности вдоль берегов, осыпающиеся, оползающие берега, рытвины и промоины на склонах;
- свободно пасущиеся животные в поймах рек и ручьев, имеющие доступ к воде (рис. 1.21 «г»);
- высокое содержание пыли в воздухе, на поверхности твердых покрытий, листве, снежном покрове;

- общее неудовлетворительное санитарное состояние территории, свалки в прибрежной зоне, угнетенность растительного покрова и нарушение эстетики природного ландшафта (рис. 1.21 «д»);
- высокий процент водонепроницаемых поверхностей в общей доле водосборной площади водного объекта, строительные работы и несанкционированные стоянки автотранспорта (рис. 1.21 «е»).

В качестве примера эффективно работающей системы мониторинга условий формирования качества воды в увязке с контролем хозяйственной деятельности на водосборной территории приведем систему ведомственного контроля АО «Мосводоканал» верховьях р. Волги и ее притоков – рек Москвы и Вазузы.

В данном случае целью мониторинга является не столько получение зависимостей между воздействием на водосбор и реакцией водного объекта или получение научного обоснования таких зависимостей, о чем речь шла выше, сколько оперативное предотвращение и/или локализация загрязнения воды, поступающей к водозаборам станций водоподготовки. В этой связи на предприятии создана и хорошо отработана система сбора и обработки материалов гидрометрических и метеорологических наблюдений. Данные наблюдений на ведомственной сети АО «Мосводоканал» включают уровни воды на реках и в водохранилищах, объемы попусков с гидроузлов, приток воды к водохранилищам, температуру воздуха, осадки и испарение, уровни грунтовых вод, запасы воды в снежном покрове и многое другое, т.е. все те факторы, которые определяют гидрологический, а вслед за ним и гидрохимический режим водоисточников.

Контроль качества воды осуществляется на всем пути его формирования: в ручьях и малых реках, в водохранилищах, вдоль основных речных русел и непосредственно у водозаборов станций водоподготовки.

Только по Москворецкой системе (не считая акваторий водохранилищ) на территории водосбора существует около 40 точек контроля качества воды (рис. 1.22).

В этих точках ежедневно отбираются пробы для проведения физико-химических, бактериологических, органолептических и гидробиологических анализов. В периоды, когда водность рек существенно возрастает и, соответственно, увеличивается вероятность ухудшения качества воды на водозаборах за счет попадания веществ с поверхностным стоком, частота отбора проб может достигать до трех раз в сутки, количество контролируемых точек также увеличивается [Карпушенко, Полянин, 2014].

Равномерное распределение контрольных точек, частота отбора проб и перечень определяемых параметров дают возможность непрерывно отслеживать изменение качества воды водных систем, заблаговременно выявлять и устранять источники поступления ЗВ. Дополнительным инструментом служат станции автоматического контроля качества воды, позволяющие получать информацию по отдельным показателям, например:



Рис. 1.22. Схема мониторинга качества воды в бассейне р. Москвы

мутность, цветность, электропроводность и др. практически в непрерывном режиме.

Основными задачами сложившейся системы наблюдений за качеством природных вод являются:

- оперативный контроль за изменением величин показателей качества воды с целью оптимизации режима водоподготовки;
- выявление и устранение источников ЗВ;
- своевременная организация разбавляющих попусков в нижние бьефы гидроузлов в зависимости от удаленности источников загрязнения, объемов сбросов и концентраций ЗВ (актуально для Москворецкого водосточника);
- прогноз изменений качества воды;
- создание информационной базы данных;
- анализ пространственно-временных связей и колебаний показателей качества и поступления ЗВ.

В дополнение к этому на водохранилищах Москворецко-Вазузской и Волжской систем регулярно проводятся вспомогательные гидробиологические, гидрофизические и гидрохимические исследования в рамках производственных программ контроля качества воды на предприятии и научно-исследовательских работ с привлечением специализированных научных организаций.

Данная система мониторинга была бы неполной и не отвечала бы целям своего создания, если бы не включала наблюдения высокой частоты и дис-

кренности за хозяйственной деятельностью на водосборной территории. Такие наблюдения проводятся специально созданной инспекторской службой. Организация работы службы подразумевает выполнение следующих задач:

- выявление угроз загрязнения со стороны точечных (в основном очистные сооружения хоз. бытовой канализации) и неточечных источников (сельскохозяйственные поля, площадки складирования навоза, стоянки автотранспорта, строительные площадки и пр.) и принятие мер к предотвращению загрязнения;
- обследования очистных сооружений канализации и канализационно-насосных станций, как плановые, так и в периоды прохождения половодья и дождевых паводков (на предмет контроля за переполнением коллекторно-дренажной сети);
- выявление источников загрязнения воды, в частности, по данным ежедневного лабораторного контроля и принятие мер по ним;
- проверка жалоб и сигналов местных жителей о загрязнении водных объектов и незаконном освоении земельных участков, других нарушениях водоохранного и санитарного законодательства;
- обследование береговой линии водохранилищ по результатам облета беспилотным летательным аппаратом;
- плановые инвентаризационные обследования мест хранения нефтепродуктов, объектов рекреации, застройки береговой полосы;
- подготовка материалов и обращений в надзорные органы.

Следует отметить несколько важных, на наш взгляд, обстоятельств: во-первых, реализацию принципа совместного мониторинга качества воды в водном объекте и хозяйственной деятельности на водосборе, т.е. работу в тесном контакте лабораторий и инспекторской службы; во-вторых, взаимодействие с общественностью и надзорными органами (общественный и межведомственный контроль); в-третьих, ориентирование на современные технологии (автоматические станции контроля качества воды и беспилотные летательные аппараты), в качестве дополнительных средств наблюдений и получения пространственно-рассредоточенной информации.

Как правило, оперативность реагирования на факты загрязнения водных объектов в наибольшей степени присуща тем организациям, предприятиям, органам власти, которые в первую очередь заинтересованы в скорейшем устранении причин такого загрязнения, локализации его распространения и/или ликвидации источников загрязнения. В случае, если водный объект используется в целях питьевого водоснабжения, очевидно, такими организациями являются, прежде всего, водоканалы, осуществляющие забор воды, ее подготовку для хозяйственно-питьевых нужд и подачу населению.

На рассмотренном выше примере организации одной из наиболее эффективных сетей мониторинга условий формирования качества природных

вод, действующей на территории России, можно предложить несколько критериев эффективности сети мониторинга, которые приведены ниже. Первые два из них определяют общую заинтересованность организации в хорошо организованной системе наблюдений, остальные, скорее, характеризуют саму систему.

1. *Ответственность.*

Водоканал и его руководство практически в одном лице несут прямую ответственность за бесперебойную подачу в многомиллионный мегаполис воды, которая должна полностью соответствовать нормативам, установленным для питьевого водоснабжения. Несмотря на серьезный барьер для загрязнений в виде надежной технологии водоподготовки, риск несоответствия нормативам может иметь широкий общественный резонанс с далеко идущими последствиями не только для репутации предприятия, но и для столицы в целом.

В случае общегосударственной системы мониторинга ответственность «распылена» между отдельными органами, такими, как межрайонная природоохранная прокуратура, областные управления Росприроднадзора, Роспотребнадзора и Росводресурсов, министерства экологии и др., степень ответственности которых по разным причинам бывает не всегда одинакова.

2. *Прямая заинтересованность.*

Водоканал, как никакая другая организация, заинтересован в экологически благополучном состоянии водных объектов, используемых для питьевых целей. Дело в том, что резкое ухудшение качества исходной воды требует немедленного реагирования и изменения режима водоподготовки с дополнительным расходом дорогостоящих реагентов. Чем чаще фиксируются случаи загрязнения водоисточников, тем чаще возникают дополнительные затраты на водоподготовку и тем больше прямые финансовые потери предприятия. В этих условиях понимание ситуации на водосборе и профилактическая работа с потенциальными объектами-загрязнителями снижает риск таких потерь.

В общем случае (государственный уровень) при ведении природоохранной деятельности важность поддержания хорошего состояния окружающей среды осознается, но прямая заинтересованность государственных органов исполнительной власти проявляется не всегда, за исключением случаев аварийных ситуаций, когда ущерб становится очевиден.

3. *Скоординированность и оперативность.*

Специальные службы водоканала – инспекции зон санитарной охраны и лаборатории работают:

- а) в тесном взаимодействии друг с другом;
- б) под единым прямым управлением (координационный центр);
- в) в едином информационном поле.

Контроль качества воды в водных объектах увязан с мониторингом хозяйственной деятельности на водосборе. Это позволяет координировать работы по мониторингу, оперативно реагировать на изменяющуюся обстановку и выявлять причины загрязнения.

В отличие от приведенного примера, действующая государственная сеть наблюдений не приспособлена для решения оперативных задач и выявления (за редкими исключениями) источников загрязнений. Связано это в основном с недостаточной частотой наблюдений во времени (в большинстве случаев 1 раз в месяц) и недостаточной густотой наблюдаемых створов. Кроме того, мониторинг хозяйственной деятельности ведется сам по себе, при этом упор сделан на сосредоточенные источники загрязнения. Источники диффузного загрязнения (см. ниже) в расчет, как правило, не принимаются. Использование дистанционных методов как дополнительных средств контроля пока не получило широкого распространения.

4. Межведомственное взаимодействие и опора на действующее законодательство.

Поддержание санитарного режима водоисточников осуществляется на межведомственном уровне при взаимодействии с основными природоохранными органами, действующими на территории Московской, Смоленской и Тверской областей. Ведется активная работа, с администрациями муниципальных районов, главами сельских поселений, средствами массовой информации.

Основа для взаимодействия – законодательная база, состоящая из нормативных правовых документов водоохранного и санитарного законодательства. Другими словами, источники питьевого водоснабжения (и их водосборные территории) в отношении водоохраны «выигрывают» по сравнению с остальными водными объектами. Несмотря на то, что и водоохранное, и санитарное российское законодательство (применительно к водоисточникам) сами по себе слабо проработаны и не обладают достаточной действенной силой, в данном случае они, хоть и частично, но компенсируют слабые стороны друг друга.

Созданная система мониторинга природных вод позволяет оперативно реагировать на изменения качества воды в источнике водоснабжения, своевременно выявлять и устранять источники загрязнения природных вод.

Недостатки прямого наблюдения включают в себя определенную предвзятость в случае недостаточного понимания наблюдателем управленческой деятельности, ошибок при составлении графиков обследований и планировании, которое пропускает важные события, а также невозможности объективной оценки интенсивности процессов или получения иной количественной информации, путем одного лишь наблюдения. Преимущества этого метода включают возможность планирования посещений и тот факт, что сам наблюдатель контролирует качество собранных данных.

Специальные журналы, полевые дневники раздаются землепользователям, фермерам, ведущим хозяйство, куда они записывают информацию, которая может иметь отношение к целям мониторинга. Естественно, что такой подход предполагает высокую степень сотрудничества со стороны землепользователей, на плечи которых перекладывается ответственность за наблюдения, что не всегда достижимо и требует специальных мер, в т.ч. экономических, по созданию условий обоюдной заинтересованности в таком сотрудничестве. Для оценки влияния сельскохозяйственной деятельности на водосборе, предполагающей использование агрохимикатов и удобрений, на качество природных вод можно привлекать данные о количестве, составе и сроках внесения соответствующих веществ, учет которых ведут центры и станции агрохимической службы, подведомственные министерству сельского хозяйства РФ.

Интервью с ответственными за выполнение практик землепользования лицами позволяет собрать дополнительную информацию, которая может быть важна для исследования, но в то же время не отражается в официальных записях или специальных журналах. Успешность такого подхода ограничивается, возможно, неполным представлением информации собеседником, и также зависит от навыков интервьюирующего. Сочетание подходов, основанных на записях в журналах и интервью, хорошо работает на небольших водосборах с относительно небольшим количеством участников. В проекте мониторинга применительно к сельскохозяйственному водосбору, описанном в работе [Meals, 2001], успешно использована комбинация анализа журналов для записей, распространенных среди местных сельхозпроизводителей, с ежегодными интервью. Опрос проводился местным консультантом по земледелию, который был известен и пользовался доверием в регионе.

Официальная государственная статистика, находящаяся в открытом доступе, например, [Государственный доклад..., 2017б; Обзор..., 2017; Ежегодник..., 2017, Российский..., 2017], может дать определенное представление о тенденциях в качестве воды, экологическом состоянии водных объектов, применяемых технологиях, объеме внесения удобрений, видах землепользования, категориях земельных участков и проч. Часть информационных материалов посвящена отдельным ЗВ или средам, например, ежегодники загрязнения почв, радиационной обстановки на территории РФ, ежегодник мониторинга пестицидов в отдельных природных средах, выпускаемые НПО «Тайфун». Данные по отдельным участкам и населенным пунктам содержатся в обзорах загрязнения окружающей среды, ежегодно выпускаемых региональными управлениями Росгидромета, отчетах профильных министерств и ведомств областного уровня (Росприроднадзор, Минсельхоз, Росводресурсы и др.). Однако в большинстве случаев информация обобщается на общегосударственном или, в лучшем случае, на региональном уровнях (уровень субъектов РФ) и не обладает достаточной степенью подробности либо ее вовсе бывает недостаточно. Такая информация может быть полезна для предварительной оценки состояния предполагае-

мого к исследованию речного бассейна, приоритетных ЗВ как в нем самом, так и на его водосборной территории. Дополнительная информация о конкретных бассейнах рек может быть частично получена из специализированных исследований, выполненных в рамках разработки нормативов допустимого воздействия (НДВ) и схем комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО).

Данные дистанционного зондирования, включая как специализированные продукты, так и общедоступные интернет-ресурсы, такие, как Яндекс-карты или Google, а также интернет-порталы отдельных ведомств, например, электронный атлас земель сельскохозяйственного назначения, доступный на сайте Минсельхоза России, или публичная кадастровая карта Росреестра могут быть полезными при проведении мониторинга хозяйственного использования земель на обширных территориях. Хотя дата снимков в этих или других ресурсах может не соответствовать той, которая требуется для конкретного проекта, такие объекты, как дороги, застроенные территории, реки и озера, легко видны, и общие типы землепользования (например, городское, сельское хозяйство или лес) могут быть идентифицированы, отображены и использованы хотя бы на подготовительном этапе к получению более подробных данных. Дистанционные методы позволяют определить те показатели, которые контролируются визуально, например, тип и густоту растительности на исследуемой территории, вид сельскохозяйственных культур, однако факт внесения удобрений на поля дистанционно определить практически очень сложно, по крайней мере, без вспомогательных полевых измерений.

Одним из перспективных видов получения визуальной дистанционной информации о хозяйственной деятельности для небольших водосборов может служить использование аэрофотосъемки с привлечением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), на которых устанавливается фотокамера высокого разрешения. Такие аппараты управляются дистанционно, обработка данных предполагает координатную привязку снимков и их сшивку в единое непрерывное изображение с наложением на общедоступную картографическую основу. Разрешение полученных изображений и готовых ортофотопланов будет существенно выше, чем у доступных космических снимков (*рис. 1.23*). Одним из дополнительных преимуществ является высокая автономность использования, позволяющая проводить наблюдения необходимой частоты и на любую интересующую дату.

Данный подход может эффективно применяться в практике оперативного мониторинга хозяйственной деятельности на водосборной территории и диффузного загрязнения государственными надзорными органами и федеральными агентствами и являться дополнением к традиционным методам контроля (см. пример выше).

Примерами использования БПЛА могут быть следующие направления деятельности:

- контроль за ходом выполнения предписаний и комиссионных проверок с/х предприятий (например, очистка площадок складирования навоза

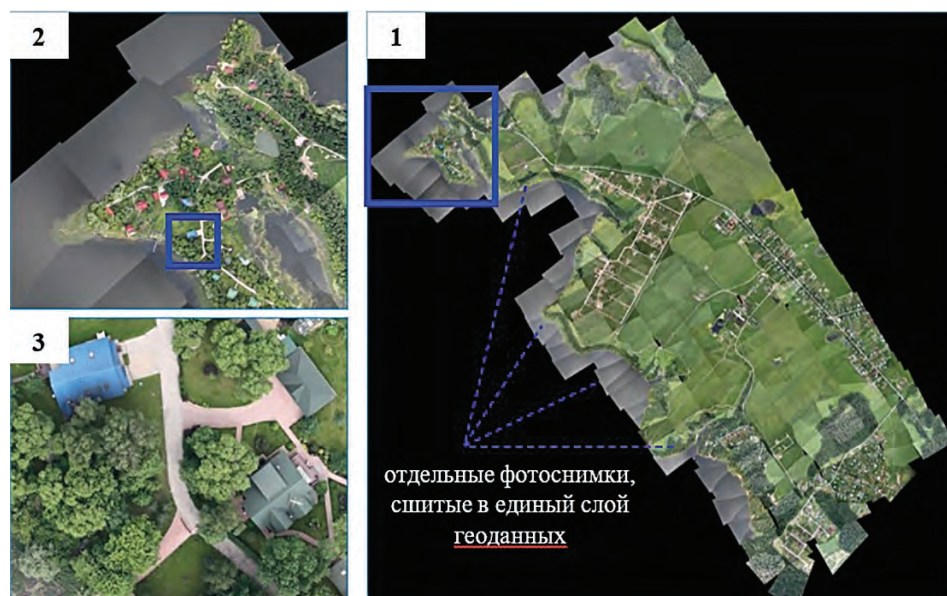


Рис. 1.23. Примеры масштабирования и обработки изображений БПЛА (Истринское вдхр.)

- и помета, общая оценка их заполнения, а также оценка состояния обваловок в труднодоступных местах);
- мониторинг сельскохозяйственных полей (степень распаханности территории, степень развитости наземной части растений и густоты посадок, идентификация эрозионных процессов);
- оперативная поддержка инспекторских проверок с воздуха для уточнения данных по потенциально опасным объектам-загрязнителям в случаях затрудненности прямого доступа (заболоченные массивы, сильно пересеченная местность, огороженная территория);
- оценка площади распространения пятен нефти, горюче-смазочных материалов (в случае их попадания на акваторию водохранилищ), определение шлейфов вод с повышенной мутностью и установление их источников, визуальная оценка очагов развития фитопланктона (например, в случае ветрового нагона);
- мониторинг объектов линейного протяжения (прибрежной защитной полосы водохранилищ, русел и пойм рек) на предмет выявления нарушений природоохранного законодательства, строительства и земляных работ, вырубок и разрывов в лесополосах, свалок бытового мусора.

На *рис. 1.24* приведен пример фотоплана БПЛА с несанкционированной свалкой мусора (слева) и соответствующее ему фотоизображение (справа), полученное при инспекционной проверке территории с земли.



Рис. 1.24. Выявление несанкционированных свалок мусора при помощи БПЛА: пример для р. Волги – Ивановское вдхр. (июнь 2016 г.)

1.3.2 Выбор проектов мониторинга

Для оценки эффективности выполняемых на водосборе мероприятий, выявления причинно-следственных связей между изменением в характере землепользования и качеством воды в водном объекте возможно несколько принципиальных подходов к выбору экспериментальных водосборов или их частей и организации наблюдений [Dressing et al., 2016].

У каждого из подходов есть свои особенности, учет или игнорирование которых могут кардинально повлиять на результаты исследований.

Один из подходов предполагает *проведение рекогносцировочных обследований* (рис. 1.25), которые относительно недороги и предназначены для выяснения предварительной картины условий формирования качества воды на водосборной территории и часто выполняются для того, чтобы [USDA–NRCS, 2003]:

- определить масштаб проблемы качества воды;
- получить предварительные данные (в случае их отсутствия);
- выделить проблемные водные объекты и соответствующие им участки водосбора.

Такие обследования проводятся обычно на предварительной стадии разработки проекта мониторинга и характеризуются наличием относительно большого количества мест отбора проб, относительно низкой частотой отбора проб, включая 1–2 отбора в основные фазы водного режима, стандартным набором показателей качества воды с учетом дополнительных показателей, если заранее известна специфика источников загрязнения, и общим непродолжительным (не более 1 года) периодом наблюдений. Общей стратегией является отбор проб вдоль главного русла, обследование притоков и мест, указывающих на определенный тип земле-

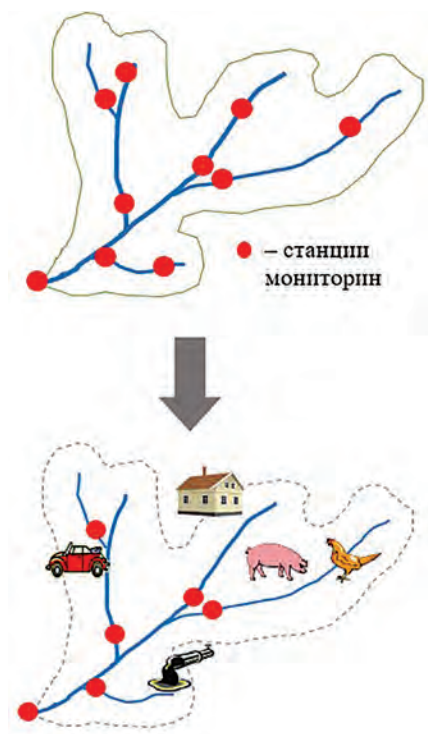


Рис. 1.25. Один водосбор (рекогносцировочные обследования)

пользования (включая ненарушенные или слабонарушенные участки водосбора) или вид хозяйственной деятельности.

При рекогносцировочном обследовании обычно не устанавливаются станции постоянного автоматического мониторинга, а практикуется обычный отбор проб. Использование многопараметрических зондов и измерения расходов воды могут быть частью схемы отбора проб в зависимости от цели исследования. Поскольку размеры получаемой выборки обычно малы, статистический анализ не производится. Последний заменяется сбором и анализом всей потенциально полезной информации о качестве воды, землепользовании, других характеристиках, визуализацией собранных сведений в виде таблиц и графиков с последующей интерпретацией на основе экспертных оценок. Например, концентрации ЗВ могут быть нанесены на график изменения расходов или уровней воды

в реке для выявления связи с водностью или сравниваться с выбранными критериями качества на основе ПДК различных веществ. Или концентрации загрязнений можно нанести на схему водосбора, совместить их с гидрографической сетью или картой землепользования и проанализировать существуют ли какие-нибудь закономерности вдоль русла. Полученные данные химического анализа можно также сравнить с результатами биологического мониторинга и/или результатами инспекционного обследования территории.

Другой подход основан на выборе *одного водосбора*, в замыкающем створе которого проводятся наблюдения за параметрами качества воды в периоды «до» и «после» внедрения водоохраных мероприятий (рис. 1.26). Он часто применяется для оценки объемов выноса тех или иных ЗВ с вышерасположенной водосборной территории для различных интервалов времени и фаз водного режима. Однако при оценке эффективности проведенных природоохраных мероприятий и степени их воздействия на качество воды в замыкающем створе такой подход может давать довольно существенные ошибки. Если случится так, что в период наблюдений «до» проведения водоохраных практик имели

место года высокой водности, а период «после», наоборот, характеризовался засушливыми условиями, то выявить какой из факторов (водность или мероприятия) сыграл ключевую роль в уменьшении общего количества загрязнений становится весьма проблематично. Исключением, однако, могут быть такие удачно сложившиеся обстоятельства, при которых произойдет улучшение качества воды и снизится объем выноса ЗВ вопреки увеличению водности в период «после» проведения мероприятий, снижающих воздействие антропогенной деятельности на водосборе.

Следующий подход к организации наблюдений используется для выявления влияния локального источника загрязнений или выделенной территории внутри основного водосбора.

В этом случае наблюдательные створы располагаются выше по течению и ниже по течению относительно *частного водосбора*, на котором выявлен источник загрязнения и предполагается изучение условий формирования качества воды (рис. 1.27).

На стадии разработки проекта, как правило, пробы отбираются обычным способом с одновременным измерением мгновенных расходов воды. В основной стадии наблюдений в данном случае целесообразно применение автоматических анализаторов качества воды и измерителей расхода (при наличии возможностей их установки), а также желательно наличие удаленного доступа. В любом случае отбор проб на двух станциях должен производиться одновременно, должны быть синхронизированы наблюдения за гидрологическим режимом, полезно также привлечение ежедневных данных с ближайшей метеостанции. Преимуществами такого подхода являются широкая применимость для различных водосборов, меньшая подверженность влиянию синоптических периодов, эффективность выделения критически важных областей с точки зрения формирования качества воды и влияния водоохранных практик. В последнем случае эффект усиливается, если наблюдения проводятся «до» и «после» изменений в характере хозяйственной деятельности.



Рис. 1.26. Один водосбор («до» и «после»)



Рис. 1.27. Один водосбор («выше» и «ниже»)

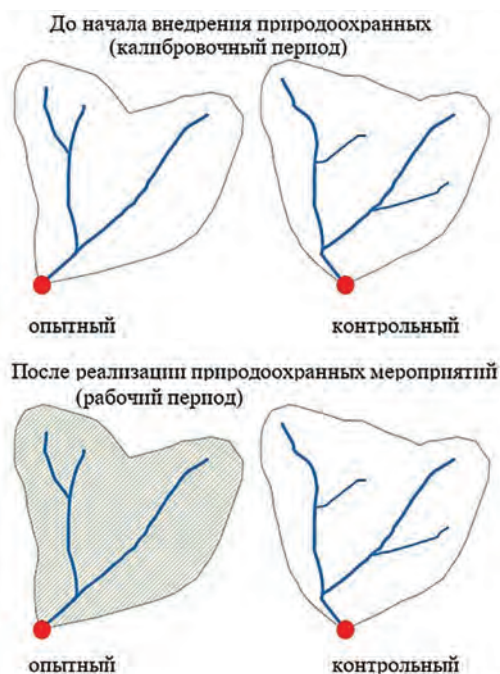


Рис. 1.28. Парные водосборы

содержания в воде нитратов [USDA–NRCS, 2003].

Один из самых эффективных подходов основан на организации наблюдений на *парных водосборах* [Hewlett, Pienaar, 1973; Clausen, 2007]. В данном случае требуется как минимум два водосбора: один из них контрольный, на котором условия ведения хозяйственной деятельности и структура землепользования не меняются в течение всего времени исследований, а другой – опытный. Наблюдения включают два основных периода: калибровочный (до начала внедрения природоохранных мероприятий) и основной рабочий, когда эти мероприятия реализованы (рис. 1.28). В калибровочный период производится одновременный отбор проб воды и измерение других необходимых характеристик в течение достаточно продолжительного периода времени. Когда данные будут собраны, производится регрессионный анализ для выявления связи между двумя водосборами. После того, как такой анализ произведен и связь установлена, на опытном водосборе начинается внедрение водоохранных практик с одновременным продолжением параллельного отбора проб на обоих водосборах. По окончании этого периода вновь строятся регрессионные зависимости и анализируется степень их изменения.

Выбираемые для изучения водосборы подбираются исходя из определенных условий:

- близкие уклоны, площади водосбора и географическое расположение;

Трудности во внедрении такого типа мониторинга могут возникнуть в случае, если условия формирования качества воды, на водосборной территории выше верхнего створа наблюдений будут оказывать негативное влияние на качество воды в нижнем створе, перекрывая влияние территории частного водосбора и сводя на «нет» эффект от применяемых на нем водоохранных практик. Схожая ситуация может случиться в случае наличия существенной разницы в ландшафтных и геологических условиях между верхней и нижней частями водосбора, наличия влияния загрязненных грунтовых вод или, например, внутриводных процессов нитрификации, приводящих к увеличению со-

- похожий почвенный, растительный покров и характер использования земель;
- близкий характер зависимостей между изучаемыми показателями качества воды и водностью;
- возможность регистрировать и документировать изменения в характере использования земель.

Выбранные водосборы должны иметь один и тот же отклик на влажные и засушливые периоды, т.е. реагировать путем синхронного увеличения водности, когда осадки происходят, и показывать соответствующее уменьшение стока в периоды их отсутствия. Также желательно, чтобы состояние контрольного водосбора и формирующееся в его пределах качество воды были такими же или даже лучше, чем на опытном. Кроме того, исследования приведут к надежным результатам только в том случае, если мониторинг хозяйственной деятельности будет проводиться одинаково подробно как для опытного водосбора, так и для контрольного. В последнем случае следует тщательно следить, чтобы изменений в характере хозяйственной деятельности и величине антропогенной нагрузки не происходило в течение всего периода проведения эксперимента. Правильно поставленные исследования обычно могут быть проведены в течение пяти-семи лет.

Трудность нахождения пар и необходимость контролировать оба водосбора являются, пожалуй, основными недостатками метода.

Подробные наблюдения за условиями формирования качества воды могут проводиться также на специально организованных *стоковых площадках*. В данном случае масштаб исследования ограничивается водосборной территорией всего в несколько гектаров. Исследования, как правило, проводятся на экспериментальных водосборах профильных сельскохозяйственных и лесомелиоративных институтах.

Экспериментальные площадки могут предоставить обширную информацию о гидрологических процессах. Они, как правило, имеют прямоугольную форму, однородны по типу почв и уклону и приспособлены для измерения поверхностного и почвенного стока воды или эрозии. Возможно, самым большим преимуществом таких площадок является то, что они дают исследователю возможность осуществлять полный контроль над основными влияющими переменными, в том числе и над осадками, поскольку площадки достаточно малы, чтобы осадки и другие климатические переменные были однородными по всей территории. Наблюдения обычно требуют постоянного оборудования для проведения детальных метеорологических наблюдений и измерения расходов воды, автоматический отбор проб,

Основным недостатком, конечно же, является то, что результаты не могут быть непосредственно перенесены на весь водосбор. Поэтому наблюдения на таких площадках носят в большей степени вспомогательный характер. Такой подход может использоваться для различных целей, например,

для измерения интенсивности почвенной эрозии, изучения путей миграции ЗВ, для оценки способности различных сельскохозяйственных культур улавливать органические и минеральные удобрения.

1.3.3 Принципы организации мониторинга

В силу особенностей формирования диффузного загрязнения организация мониторинга требует разработки отдельного подхода, основанного на следующих основных принципах [Кирпичникова, Полянин, 2019].

1. Учет гидрометеорологического режима.

Основные потоки ЗВ от неточечных источников формируются при выпадении осадков и таянии снега. Это определяет характер стока (периодичность, интенсивность, продолжительность). Поэтому контроль качества воды в целях выявления диффузного загрязнения и его количественной оценки должен быть увязан с многоводными фазами водного режима (весенним половодьем и дождевыми паводками).

Наблюдениями установлено, что наибольшая нагрузка ЗВ от неточечных источников характерна для подъема половодья или дождевого паводка, т.е. еще до того, как водность рек достигает своих максимальных значений.

На *рис. 1.29* показано влияние внутригодового изменения водности реки на качество воды (в данном случае для мутности). Цифрой (1) обозначен пик весеннего половодья, цифрой (2) – пики, обусловленные снего-дождевым паводком осенью 2012 г. Приведенный пример наглядно демонстрирует характерную особенность диффузного загрязнения про-

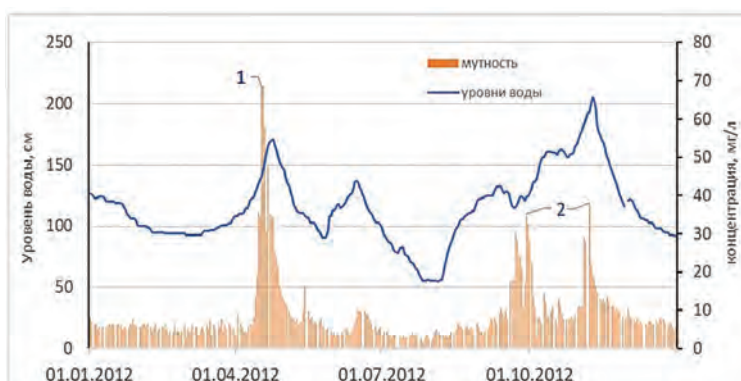


Рис. 1.29. Изменение уровней воды и мутности в р. Малая Истра (площадь водосбора – 483 км²) – малая река в верхней части бассейна р. Москвы на территории Московской области (уровни воды – по данным наблюдений Центрального УГМС (на г/п «Киселево»), мутность – по данным ведомственного лабораторного контроля качества воды АО «Мосводоканал»)

являться в многоводные фазы водного режима. Более того, многолетний опыт исследований авторов в бассейнах рек Москвы и Волги показывает, что именно на подъеме половодья и паводков чаще всего фиксируются специфические запахи природных вод – нефтяной, навозный (как индикаторы поверхностного смыва) и сточный (часто, как индикатор излива стоков из общесплавной системы канализации).

2. Учет хозяйственной деятельности.

Хозяйственная деятельность является ведущим фактором диффузного загрязнения.

Следует учитывать, что влияние оказывают не столько типы хозяйственной деятельности на водосборной территории или подстилающей территории, сколько применяемые практики землепользования, технологические процессы и внедряемые природоохранные мероприятия, сроки и полнота их выполнения.

3. Репрезентативность.

Частота наблюдений должна быть выше динамики загрязнений в водном объекте, определяемой изменчивостью последнего. Если, например, проект мониторинга нацелен на то, чтобы получить объективную оценку выноса ЗВ вместе с дождевым стоком с городской территории, промышленной площадки или отдельных их частей, то может потребоваться измерение интенсивности жидких осадков, расходов воды и проведение отбора проб воды с частотой в зависимости от фазы водного режима: 1 раз в 10–30 минут – в течение дождевого паводка и не реже 1 раза в сутки – для периода снеготаяния (рис. 1.30 и 1.31).

Для отдельных речных водосборов, в замыкающих створах которых проводятся наблюдения, частота отбора проб должна устанавливаться с учетом времени добегания воды с водосборной территории.

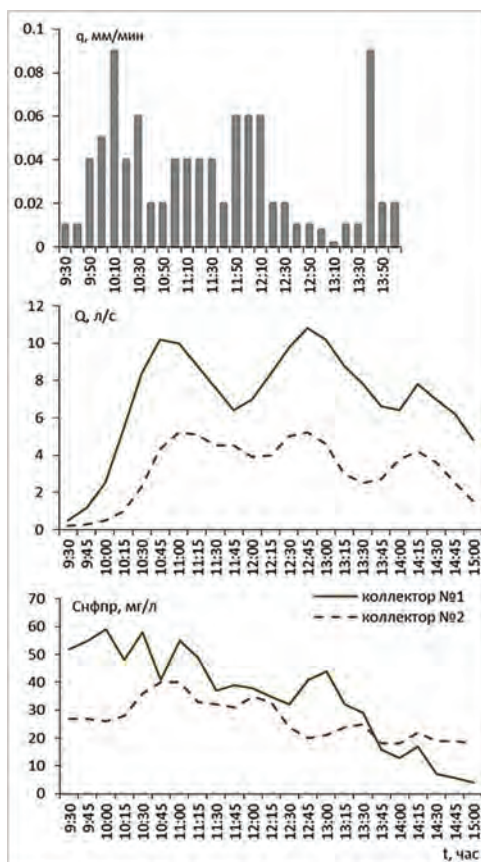


Рис. 1.30. Экспериментальные гидрографы и плувиографы ливневых коллекторов №1, 2 промплощадки ГРЭС (площадью 38,5 га) г. Конаково, 25.09.1990

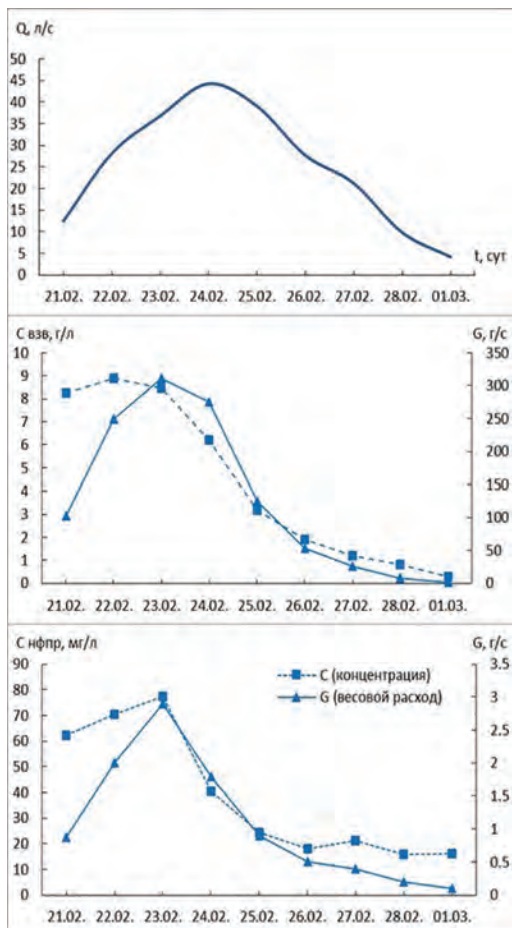


Рис. 1.31. Экспериментальные наблюдения расходов воды, концентраций взвешенных веществ и нефтепродуктов на ливнепуске № 3, г. Тверь, 1990 г

4. Сфокусированность на верхних звеньях гидрографической сети.

При организации изучения факторов диффузного загрязнения мониторингу малых водосборов должно быть уделено особое внимание, поскольку они являются наилучшими индикаторами антропогенного воздействия. Ухудшение экологического состояния малых рек представляет собой один из основных предикторов развития негативных процессов большего масштаба, которые можно выявить и предотвратить на ранних стадиях их развития.

Небольшие пространственные масштабы лучше поддаются производственному и инспекционному контролю, поэтому результаты анализа системы «воздействие-отклик» будут более обоснованными.

На рис. 1.32 приведен пример ежедневного мониторинга поступления минерального азота на небольшом притоке Иваньковского водохранилища в период весеннего половодья. Основная нагрузка данного водосбора – удобряемые сельскохозяйственные поля (кормовые

травы). Как видно из рисунка, максимальные концентрации минерального азота формируются в первую декаду весеннего половодья.

На рис. 1.33 приведено изменение величины БПК₅ и концентраций минерального азота в двух створах, ограничивающих участок Иваньковского водохранилища (р. Волга) длиной около 12 км. Пример влияния интенсивной коттеджной застройки на правом берегу на качество воды (влияние территории большего пространственного масштаба) дождливым летом 1998 г. Створ выше застройки – о. Низовка, створ ниже застройки – п. Плоски.

Таким образом, идентификация диффузных источников загрязнения, оценка их влияния на экологическое состояние водных объектов и создание

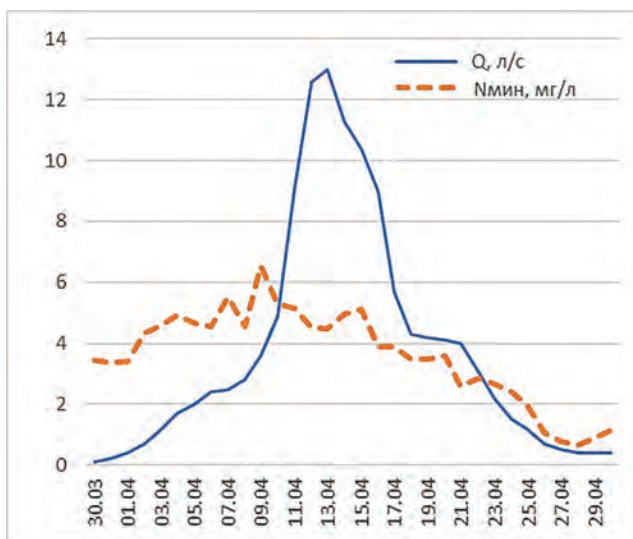


Рис. 1.32. Графики изменений водности (расходов воды) и концентраций минерального азота в устье ручья Плоски (площадь водосбора 2,8 км²) – правого притока Ивановского вдхр. на территории Тверской области

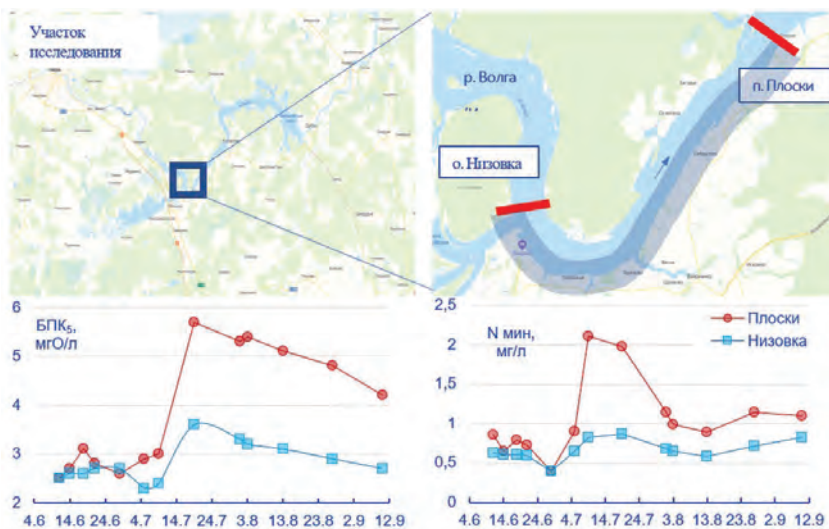


Рис. 1.33. Экспериментальные исследования влияния береговой застройки на качество воды в Ивановском водохранилище

эффективных водоохраных программ требуют разработки специальных проектов мониторинга, более объективно отражающих специфику исследуемого вопроса, по сравнению с существующей системой и опирающиеся на перечисленные выше принципы.

1.3.4 Особенности мониторинга отдельных видов хозяйственной деятельности, процессов и объектов природной среды

В данном разделе приведены специфические процессы и объекты мониторинга. Для них в полной мере применимы принципы организации наблюдений, приведенные выше. Тем не менее, подходы к мониторингу таких объектов и процессов требуют более детальных пояснений.

1.3.4.1 Мониторинг эрозии почв

Мониторинг эрозии почв представляет собой двухуровневую систему, ее подсистемы – *региональный* и *локальный* мониторинг, направленные на оценку почвенной эрозии, которая влечет диффузное загрязнение водных объектов в зонах интенсивной антропогенной деятельности.

В качестве объектов мониторинга следует рассматривать преимущественно земли сельскохозяйственного назначения, включая орошаемые и осушаемые угодья, а также временные и постоянные водотоки, водосборы которых частично или полностью расположены в пределах таких территорий.

На *региональном уровне* формируется точное представление о распространении эрозионно опасных зон и эрозионных процессов, их интенсивности, собирается и анализируется информация о региональных особенностях ведущих факторов эрозии. Для этого рекомендуется использовать данные аэро- и космической фотосъемки; наземной эрозионной съемки с использованием спутниковой системы глобальной навигации, которая позволяет точно оконтурить на местности эрозионные объекты, выделить территорию, тяготеющую к водному объекту (локальный водосбор), для которой будет оцениваться диффузное загрязнение.

На *локальном уровне* выделяют системы, обусловленные действиями локальных экзогенных процессов, микроформ рельефа, генетических типов отложений, режимом водного питания, почвенными и растительными особенностями.

Полноценная система мониторинга должна иметь, как минимум, два взаимосвязанных блока:

- блок оценки поступления ЗВ с эрозионным смывом (линейным и плоскостным);
- блок контроля состояния водного объекта.

Для оценки линейной эрозии следует ориентироваться на следующие показатели:

- густота овражно-балочной сети (км/км²);
- овражность (га/км²);
- глубина вреза овражно-балочной сети (м).

Совокупность этих показателей дает характеристику развития эрозионных процессов и позволяет судить об их динамике, площади их проявления, объемах выноса твердого стока (почвенных частиц).

Для оценки плоскостной эрозии и дефляции используются следующие показатели:

- вертикальная структура почв (почвенный разрез);
- мощность гумусового горизонта (по сравнению с эталонным значением);

Оценка этих параметров выполняется преимущественно по данным наземных обследований (в основном по данным наблюдений на стоковых и почвенных площадках).

Для получения объективной информации о фактическом распространении эрозии на землях сельскохозяйственного назначения рекомендуется проводить наблюдения на локальном уровне на стационарах и специально оборудованных стоковых и пробных площадках почвы. При их выборе особое внимание необходимо уделять распределению угодий по уклонам местности, составу почв, растительному покрову.

На орошаемых землях при несоблюдении правил и норм полива, неумеренного полива и плохо спланированного участка возникает ирригационная эрозия. Для оценки объема поверхностного стока и смыва почвы в результате ирригационной эрозии должны устанавливаться министокоские площадки размером 1,5×1,5 м, ограниченные металлическими рамами, заглубленными в почву на 5–7 см и оборудованные соответствующими емкостями для сбора стекающей воды. Твердый сток отфильтровывается, высушивается, взвешивается. Химический состав вод и твердого стока анализируется отдельно.

Стационарные методы мониторинга (все площадки) следует считать наиболее информативными для изучения процессов эрозии и разработки противоэрозионных мероприятий. На их основе строятся почвенно-эрозионные карты, для которых характерна очень высокая степень сжатия информации, обеспечивающая возможность анализа эрозионной обстановки на больших территориях, что позволяет обеспечить переход с локального на региональный уровень.

Следующим шагом является создание интерактивных карт на выделенные территории с нанесением рельефа местности для установления мест устройства стационаров (стоковых площадок, пробных площадок почв и министокоских площадок), а также мест отбора образцов с целью возможного уточнения диффузного загрязнения.

По результатам такого предварительного анализа осуществляется выезд на места для уточнения границ локального водосбора, типа растительности, мест отбора образцов. Одновременно устанавливаются ловушки для сбора воды и почвенных частиц и собирается информация у хозяйства о порядке использования участка, о внесенных удобрениях, средствах защиты растений для занесения в базу данных.

При организации наблюдений (локальный уровень) необходимо придерживаться следующих общих положений.

1. Наблюдения за жидким, твердым стоком и химическим составом воды водного объекта проводятся в период весеннего снеготаяния, после слабобинтенсивных, но продолжительных дождей и в период ливневых осадков.

2. Лотки-уловители для сбора поверхностного стока и почвенных частиц устанавливаются в верхних частях эрозионных врезов на краю поля с учетом общего рельефа местности и тяготеющей водосборной площади.

3. Определение содержания химических элементов в воде и смываемой почве производится стандартными методами.

4. Отбор проб на всех пробных площадках почв, включая пробные площадки исходных фоновых наблюдений [РД 52.18.769..., 2012], должен проводиться не менее одного раза в 5 лет. На пробных площадках, где загрязнение почвы ожидается наибольшее, почвенные пробы должны отбираться не реже одного раза в год.

5. Наблюдения за ирригационной эрозией должны осуществляться в вегетационный период после каждого полива. При этом оценивается суммарный объем и химический состав жидкого и твердого стока и определяется диффузное загрязнение: вынос с орошаемой территории биогенных веществ, пестицидов и тяжелых металлов.

Отбор проб почвы, жидкого и твердого стока должен осуществляться с соблюдением следующих требований:

- на пашне единичные пробы отбираются на глубину вспашки, не глубже 20 см;
- на пробной площадке отбирается не менее 5 единичных проб почвы массой 0,5 кг методом «конверта» (по углам пробной площадки и в центре);
- объединенная проба почвы готовится в лабораторных условиях из равных навесок единичных проб, отобранных с одной пробной площадки;
- на каждую единичную пробу почвы заполняется сопроводительный талон.

Отбор проб снежного покрова должен проводиться согласно [РД 52.04.186, 1991; РД 52.44.2–94, 1995] перед снеготаянием на всю толщину снежного покрова.

Отбор проб жидкого и твердого стока должен проводиться в нижней части стоковой площадки в паводковый период и во время выпадения обильных или продолжительных осадков.

Наблюдения за ирригационной эрозией на орошаемых землях должны быть приурочены к периодам проведения поливов.

Перечень основных контролируемых показателей должен включать: взвешенные вещества, рН водной вытяжки, водорастворимые калий, фосфор, кальций, магний, натрий, общий азот в водном растворе, аммонийный азот, нитратный азот, гуминовые вещества в водном растворе, фульвовещества, хлорид-ион, сульфат-ион, а также подвижные формы тяжелых метал-

лов и радионуклидов (цезий–137, стронций–90) в водном растворе и во взвешенном веществе.

После отбора образцы доставляют в лабораторию, где их анализируют в соответствии с установленными требованиями. Туда же доставляют образцы жидкого и твердого стока со стационарных участков.

После получения результатов наблюдений проводится расчет количества веществ, смытых с поверхности конкретного поля в первичную гидрографическую сеть.

Оценка химического состава водных объектов, дренирующих эрозионно опасные территории, должна быть согласована с мониторингом эрозионных процессов и включена в общую программу наблюдений.

1.3.4.2 Мониторинг эрозии берегов

Данный вид мониторинга проводится в целях выявления абразивных и зарастающих участков, прогноза интенсивности переработки берегов, прогноза интенсивности зарастания берегов, мелеобразования и накопления (размыва) аккумулятивной зоны, выявления последствий загрязнения воды от этих процессов на конкретных участках, оценки комплексного экономического ущерба, а также поиска возможных экономически оправданных мероприятий по снижению или предотвращению загрязнений.

При организации мониторинга переработки берегов следует учитывать, что для каждого водохранилища (и его отдельных участков) характерен свой уникальный набор действующих факторов и их сочетаний, которые определяются:

1. Региональными условиями:

- климатом, рельефом и гидрогеологическими особенностями территории;
- морфометрическими особенностями водохранилища (конфигурация берега, глубины, отмели, свалы);
- гидрологическим режимом водохранилища (режим уровней верхнего и нижнего бьефов, режим попусков).

2. Локальными условиями:

- наличием (отсутствием) инженерных берегозащитных сооружений;
- наличием (отсутствием) мероприятий по берегозащите и их качеством;
- ориентацией берегов относительно господствующих ветров, сторон света (нагонные явления, таяние снега и оттаивание грунтов);
- интенсивностью судоходства, близостью берега к фарватеру (высота и энергия волн от судов);
- высотой берегового откоса;
- наличием растительности и проч.

Следует принимать во внимание что при отсутствии укрепления берегов их деформация приводит к постоянному обрушению берегов, отступлению береговой линии, утрате хозяйственных территорий и служит источником загрязнения воды.

Сочетание перечисленных выше условий проявляется в виде разных механизмов (схем) разрушения берегов.

Наиболее характерные формы и механизмы разрушения берегов водохранилищ Волжско-Камского каскада включают (в зависимости от водонасыщенности и связности грунта берегов) [Королев и др., 2017]:

- обрушение берегов по плоским и круглоцилиндрическим поверхностям;
- непосредственный размыв берегов талыми и дождевыми водами с образованием оползней, борозд и оплывин;
- разрушение невысоких берегов судовыми и ветровыми волнами в результате подмыва;
- деформацию в результате медленного вязко-пластичного течения насыщенных водой грунтов;
- разрушение береговых откосов разной экспозиции в результате образования ледяных экранов в грунте и неравномерного оттаивания почвы в весенний период;
- сползание насыщенного водой грунта в результате суффозионно-фильтрационных процессов.

При составлении программы мониторинга необходимо учитывать особенности проявления действующих факторов, и поэтому такая программа должна разрабатываться для каждого водного объекта в отдельности.

Общая схема организации мониторинга береговых процессов должна включать следующие технические и организационные мероприятия:

- сбор и анализ архивных данных и установление месторасположения и протяженности характерных участков водохранилища (размываемых, стабильных, зарастающих и т.д.) с определением интенсивности процессов;
- выявление воздействий на берега водохранилища и их ранжирование по значимости для данного участка;
- выявление форм и механизмов (схем) разрушения берегов;
- типизацию участков по действующим механизмам (схемам);
- выбор расчетных схем и методов расчета устойчивости берегов на каждом конкретном участке и определение перечня параметров, которые необходимо устанавливать в ходе мониторинга для выполнения прогнозных расчетов;
- выбор методов инженерно-геологических, геомеханических и гидрологических изысканий и наблюдений, методик и оборудования;
- определение частоты (периодичности) наблюдений, объемов изысканий, мест их проведения и организацию измерительных створов;
- составление программы и схемы мониторинга для конкретных участков водного объекта;

- оптимизацию системы наблюдений и изысканий;
- составление единой программы наблюдений для всего водного объекта;
- определение исполнителей программы, определение объемов работ и объема финансирования;
- коррекцию программы мониторинга (в случае необходимости).

Целесообразно производить периодический контроль качества воды до и после (ниже по течению) характерных участков.

Объектом наблюдений в соответствии с программой мониторинга должны являться не только береговая линия (фиксация отступления береговой линии), но и аккумулятивная зона, глубины и их изменение, прибрежная зона, высота берегов относительно уреза воды и положение уровня грунтовых вод.

В ходе мониторинга следует использовать современный инструментарий (оборудование, методы и средства измерений), которые должны обеспечивать относительную простоту выполнения работ в полевых условиях и оперативность, а также максимальную объективность расчетов.

1.3.4.3 Мониторинг стойких органических загрязнителей (СОЗ)

Мониторинг СОЗ в донных отложениях поверхностных водных объектов России в настоящее время носит нерегулярный характер, а нормативы содержания отсутствуют. Используемый сейчас в мониторинге СОЗ подход базируется, главным образом, на контроле суммарного содержания веществ каждой группы. Согласно исследованиям Института биологии внутренних вод (г. Борок) в бассейне р. Волги среди СОЗ наиболее часто и в наибольших количествах встречаются полихлорированные бифенилы (ПХБ), дихлордифенилтрихлорэтан (ДДТ) и его метаболиты, гексахлорциклогексан (ГХЦГ) и его изомеры. Соотношение этих групп СОЗ в донных отложениях располагается в ряду $\Sigma\text{ПХБ} > \text{ДДТ}$ и его метаболиты $>$ изомеры ГХЦГ [Чуйко и др., 2010].

При организации мониторинга СОЗ следует ориентироваться на следующие положения.

Во-первых, в силу своей высокой гидрофобности СОЗ практически отсутствуют в растворенной форме в воде. Попадая в водные объекты, эти вещества быстро сорбируются на взвешенных минеральных и органических частицах и разносятся по течению на значительные расстояния, оседая на дно, аккумулируясь в донных отложениях в зонах повышенной седиментации, приуроченных к местам замедления течения. Таким образом, взвешенные в воде вещества и донные отложения служат первичным накопителем СОЗ.

Во-вторых, из всех фракций донных отложений наибольшей аккумулирующей способностью по отношению к СОЗ обладают илы с относительно

высокими (более 10%) содержанием органического вещества. Пространственное распределение таких отложений наиболее точно отражает характер загрязнения пресноводных объектов.

В-третьих, распространение СОЗ в окружающей среде связано также с их миграцией по трофическим цепям.

1.3.4.4. Мониторинг урбанизированных территорий

Приведенный в данном примере подход может быть использован в целях получения исходных данных для интегральной оценки поступления диффузного загрязнения с территории города и/или промышленной зоны в реку, на которой они расположены.

Работу необходимо проводить в несколько этапов: подготовительный и основной (половодье, паводки). Следует помнить, что чем тщательнее будут выполнены работы на подготовительном этапе, тем качественнее будет проведение экспериментальных работ и тем достовернее будут результаты всего проекта мониторинга.

Этап 1 (подготовительный).

На подготовительном этапе осуществляется сбор следующей информации:

- расположение городской территории относительно водного объекта;
- площадь, население, экспликация (выделение разных функциональных зон городской территории);
- наличие или отсутствие ливневой канализации со схемой расположения ливневых выпусков;
- наличие (отсутствие) данных наблюдений за качеством воды на выпусках ливневой канализации: ЗВ, в какие сезоны и в какую фазу водного режима отбирались пробы (на подъеме или на спаде половодья и/или паводка, в межень);
- характеристика промышленных и хозяйственных сточных вод (точечные источники), схема расположения их выпусков (выше города, в черте города, ниже города);
- данные о наличии санкционированных городских свалок ТКО и снегосвалок: характеристика, расположение относительно города;
- обоснование к определению приоритетных ЗВ, характерных для конкретной реки, городского поверхностного стока;
- особенности гидрологического режима исследуемой реки (наличие/отсутствие вышерасположенных водохранилищ, режим попусков воды через плотины и проч.);
- расположение (удаленность) близлежащего гидрологического поста сети Росгидромета для оценки расходов воды в реке в районе исследований;

- сбор и анализ информации по мониторингу (любого уровня) качества воды, дискретность наблюдений, перечень наблюдавшихся ЗВ, удаленность от города;
- обеспеченность исследуемой территории оперативными метеорологическими прогнозами;
- определение наличия технической и ресурсной базы к проведению экспериментальных работ: автотранспорт, материальная база (оборудование), химические лаборатории, квалификация сотрудников.

Этап 2. Проведение работ в период половодья.

При наличии метеопрогноза за 10 дней до наступления перехода температуры воздуха через ноль в сторону положительных величин «разбиваются» два створа выше и ниже города с бурением лунок (и змерительные вертикали) по три (минимум) на каждом створе [Р 52.24.353–2012, 2012]. Верхний створ обычно располагается в 0,5–1,0 км выше города. Нижний створ обычно располагается в 3 км ниже города с учетом полного смещения объемов речных, контролируемых сточных и поверхностных городских вод. Предварительно исследуется толщина ледового покрова выше и ниже города в целях выполнения условий безопасного проведения работ.

При наличии метеопрогноза за 3 дня перехода температуры воздуха через ноль в сторону потепления начинается ежедневный отбор проб воды (со льда) в дневное время во время максимальной дневной температуры воздуха с глубины не менее 3–5 метров во избежание попадания талой поверхностной воды в пробу от ледостава. Анализ воды ведется по каждой пробе с целью определения максимальных концентраций ЗВ.

При наличии мостовых переходов отборы проб целесообразно проводить с них. В этом случае экспериментальные работы можно продолжить в период ледохода. При этом готовятся пробоотборники с прикрепленным грузом, во избежание сноса троса при больших скоростях течения.

Общий период отбора проб воды по двум створам определяется ходом положительных температур и визуального обследования территории города по наличию снегового покрова и наличию стока на выходах ливневой канализации. Обычно длительность этого периода составляет 14–18 дней.

При отсутствии возможности непосредственного измерения расходов воды выше и ниже городской территории расходы воды в створе ниже города можно условно принимать равным сумме расхода воды в реке выше города и объема сбрасываемых сточных вод. Расход воды в верхнем створе принимается по данным близлежащего гидрологического поста.

Рассчитываются массовые расходы ЗВ в верхнем и нижнем створе.

По каждому ЗВ вычитается масса контролируемого сброса сточных вод (собственные измерения, данные местных химических лабораторий и информации 2–ТП (водхоз)). Более надежные результаты дает проведение собственного отбора проб сточных вод несколько раз за период отбора проб в речных створах.

Этап 3. Проведение экспериментальных работ в период паводков.

Схема выполнения остается такой же, как и в половодье. При этом необходимо соблюдение следующих условий:

- отбор проб воды оптимально проводить в экстремальные ливни или в серию продолжительных дождей;
- наличие метеопрогноза на ближайшие дни;
- наличие подготовленного водного транспорта.

Следует также помнить, что на больших реках идентифицировать поверхностный смыв с города (промзоны) бывает технически очень сложно, поэтому при выборе объекта мониторинга следует ориентироваться по возможности на небольшие реки, протекающие в пределах городской черты.

Организацию экспериментов в период паводков необходимо планировать после анализа результатов работ в половодье.

1.4 ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ ЗАЩИТЫ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ ДИФFUЗНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

1.4.1 Опыт Европейского союза

В Европейском союзе проблема диффузного загрязнения водных объектов связана прежде всего с сельским хозяйством – источником поступления в окружающую среду биогенов (в основном азот и фосфорсодержащих веществ) и пестицидов. Среди прочих источников диффузного загрязнения также признаются сельские жилые районы и домохозяйства (не подключенные к централизованной системе канализации), поверхностный сток с урбанизированных территорий и лесных угодий, атмосферные выпадения, а также загрязнения прошлых лет, например, прекратившие свое функционирование промышленные площадки. По состоянию на 2018 г. источники диффузного загрязнения оказывают негативное воздействие на 38% поверхностных водных объектов и 35% грунтовых вод ЕС, в то время как на долю точечных источников приходится только 12%. Европейское агентство по окружающей среде к наиболее значимым факторам воздействия на экологическое состояние вод относит также антропогенные преобразования речной сети и ее элементов и связанную с этим деградацию среды обитания животных и растительных организмов (40 % водных объектов) [European waters, 2018].

Среди ключевых нормативных правовых документов общеевропейского масштаба, так или иначе направленных на снижение диффузного загрязнения, следует выделить следующие.

Снижение диффузного загрязнения рассматривается как один из самых значимых социальных вызовов в пределах ЕС на ближайшую перспективу.

1.4.1.1 Водная Рамочная директива ЕС

Директива вступила в силу в 2000 г. как результат долговременного (с 1970-х гг.) сотрудничества европейских стран в области интегрированного управления водными ресурсами и является его неотъемлемой частью. Документ устанавливает правовые рамки и создает необходимые условия для оценки, управления, защиты и улучшения качества водных ресурсов с целью достижения «хорошего состояния» для всех поверхностных и грунтовых вод на территории ЕС [Directive 2000/60/EC, 2000].

Будучи главным инструментом европейской водоохранной политики, Водная директива дополняется рядом других законов и «дочерних» директив, касающихся конкретных аспектов хозяйственной деятельности и связанных с использованием водных ресурсов и/или воздействием на качество воды [Council Directive, 1991; Directive 2010/75/EU, 2010; Council Directive, 1998; Directive 2006/7/EC, 2006]. Кроме того, в рамках этого подхода делается акцент на дальнейшую более глубокую и продуманную интеграцию водоохранной политики в другие сферы деятельности ЕС: энергетику, транспорт, сельское хозяйство, рыбоводство и рыбную ловлю, туризм и др., что в том числе также подразумевает пристальное внимание к источникам диффузного загрязнения в разных отраслях хозяйства. Парадигма основана на том, что многие отрасли экономики, как и все люди в целом, находятся в прямой зависимости от экологического состояния природных вод, а также других водозависимых экосистем, служащих источниками воды, пищи и участвующих в процессах регулирования климата. Так, например, водно-болотные угодья предоставляют экосистемные услуги по хранению воды, очищению от загрязнений, поступающих с поверхностным стоком, снижению содержания углекислоты в атмосфере, что с экономической точки зрения оценивается в миллиарды евро.

Хорошее состояние водных объектов определяется по совокупности нескольких критериев:

- для поверхностных вод устанавливается гидрохимический статус водного объекта, экологический статус, учитывается ряд других специфических факторов (не для всех водных объектов) в зависимости от целей водопользования (например, хозяйственно-питьевое водоснабжение, купание и т.д.), а также оценивается количество возобновляемых водных ресурсов;

Кадмий, одним из источников которого являются минеральные фосфорные удобрения, накапливается в 45% сельскохозяйственной почв, главным образом на юге Европы, где он меньше вымывается в результате меньшего количества осадков. В 21% сельскохозяйственных почв, концентрации кадмия в верхнем почвенном горизонте превышают установленные лимиты для грунтовых вод, используемых для питьевого водоснабжения – 0,001 мг/дм³. Поэтому в ЕС уделяется внимание тщательному мониторингу путей миграции и концентраций кадмия и других тяжелых металлов в грунтовых водах. Другой тяжелый металл – медь, является важнейшим микроэлементом, однако в повышенных концентрациях оказывают неблагоприятное воздействие на растительные и животные организмы. Данный металл широко используется на территории ЕС в качестве фунгицида, особенно в садах и на виноградниках. Результаты Программы полевых обследований почв (Land Use and Coverage Area Frame Survey – LUCAS) в 2009–2012 гг. показали повышенное содержание меди в районах виноделия и выращивания оливок (рис. 1.34). Кроме того, медь вместе с цинком используется в добавках для корма скота и поэтому содержится в навозе и, соответственно, на полях в животноводческих районах [The European environment, 2019].

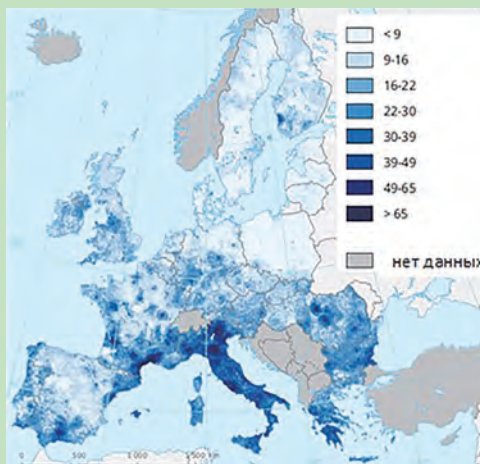


Рис. 1.34. Содержание меди (мг/кг) в почвах на территории Европейского союза

– для подземных водных объектов устанавливается гидрохимический статус и оценивается количество возобновляемых водных ресурсов.

В целом ЕС ставит очень амбициозную цель достичь такого экологического состояния водных объектов, при котором определяющие это состояние показатели лишь незначительно отличались бы от природного фона.

Для определения гидрохимического статуса выделяют приоритетные ЗВ, для которых устанавливают лимиты концентраций (в некоторой степени можно считать аналогом российских ПДК) [Environmental Quality Standards Directive, 2008]. К ним относятся вещества, провоцирующие эвтрофирование, в особенности нитраты и фосфаты, органические и неорганические вещества, обладающие канцерогенным, мутагенным действием, пестициды, некоторые тяжелые металлы (в особенности ртуть, кадмий, медь, цинк, никель), поступающие как от точечных, так и от диффузных ис-

точников, мышьяк, вещества ухудшающие кислородный режим (по БПК и ХПК) и ряд других соединений.

Конечной целью в данном случае является снижение концентраций этих ЗВ в воде до значений, не превышающих установленные лимиты, или эталонных значений, установленных для ненарушенных природных участков.

Важно отметить, что для грунтовых вод применяется несколько иной подход. Исходным императивом является то, что грунтовые воды не должны загрязняться вообще. Поскольку это ограничивает применимость системы лимитов концентраций, которая все же допускает наличие потоков ЗВ, предельные концентрации были установлены только для некоторых веществ (нитратов и пестицидов). А основным регулирующим механизмом является наложение полного запрета на прямые сбросы ЗВ в грунтовые воды. В целях предупреждения иных (непрямых) путей попадания загрязнений, т.е. влияния диффузных источников, в законодательном порядке определено требование осуществлять мониторинг подземных водных объектов таким образом, чтобы своевременно выявлять и принимать все необходимые меры для предотвращения развития любых тенденций и трендов в ухудшении качества воды.

Экологический статус определяется способностью водных объектов поддерживать биоразнообразие, способность к самоочищению, а также состояние местообитаний животных организмов, достаточное для нормального воспроизводства потомства. При определении хорошего состояния с точки зрения экологии учитываются биологические показатели качества воды (состав водной флоры, фауны и донных беспозвоночных), гидрофизические характеристики водных объектов, а также степень нарушенности их естественной морфологии (глубины, состояние дна и берегов, наличие искусственных сооружений, спрямленных участков русла, сужений, различного рода препятствий для нереста и миграции рыбы и проч.).

В количественном отношении должен соблюдаться баланс между потребностями общества, например, забором воды на орошение, промышленное производство и энергетику, и обеспечением естественного функционирования водных и околосредовых экосистем, в чем прослеживается прямая связь Директивы с принципами устойчивого развития.

При определении состояния водного объекта действует принцип: если хотя бы по одному из критериев не достигаются целевые показатели, то «хорошее состояние» также не может быть признано достигнутым.

Сопутствующими целями и принципами также являются:

- охват всех видов воздействия на воду независимо от их происхождения и обеспечение единой согласованной системы управления, основанной на бассейновом подходе и интеграции всех законодательных актов, касающихся водных ресурсов;
- обеспечение прочной долгосрочной основы для принятия политических, технических и финансовых решений на всех уровнях;

- привлечение граждан и заинтересованных сторон на основе широкого участия общественности;
- экономическая оценка предлагаемых и/или принимаемых мер, а также использование экономических инструментов для достижения экологических целей, включая политику ценообразования на воду, которая предусматривает надлежащие стимулы для возмещения расходов на водоснабжение жилищно-коммунального сектора, промышленности и сельского хозяйства.

Для создания надлежащих условий реализации Директивы и изложенных в ней принципов членами ЕС под руководством Европейской комиссии была выработана Общая стратегия (Common Implementation Strategy), включающая проработку основных пунктов и подготовку соответствующих руководств и инструктивных документов для их корректного выполнения по следующим направлениям:

В качестве примера экспертно-аналитических систем, специально созданных для поддержки принятия решений, сопровождения реализации Водной директивы и упрощающих предоставление отчетности, можно привести партнерский проект Европейской комиссии и Европейского агентства окружающей среды – WISE (Water Information System of Europe), который адресован разным целевым аудиториям (правительственные организации от общеевропейского до локального внутригосударственного масштаба, ученые и профессионалы, исследования и работа которых связана с водной тематикой, группы людей, занятых в разных областях экономики, напрямую не связанных с водой, но имеющих косвенный интерес к водно-экологической тематике). Система содержит сведения по документам европейской водной политики, включая текущие отчеты, аналитические записки и иные материалы, базы данных, интерактивные карты и графики, результаты научно-исследовательских работ по водным объектам суши и морской тематике, в том числе по моделированию переноса биогенных элементов и других химических веществ и их воздействия на водные объекты. Проект постоянно обновляется и способствует лучшему сбору и обмену информацией и данными на межгосударственном уровне, повышению осознанности широких слоев общества и, тем самым, действенности европейской политики по сохранению и устойчивому использованию водных ресурсов.

- выделение речных бассейнов – как полностью находящихся на территории государства, так и трансграничных – отнесение их к бассейновым округам и определение национальных органов, ответственных за реализацию Директивы;
- определение границ и классификация водных объектов (по принадлежности к экорегиону, типу водных объектов, состоянию и пр.), определение эталонных показателей состояния для каждого типа водных объектов с учетом их классификации;

- характеристика использования водных объектов и оценка антропогенного воздействия на бассейны (бассейновые округа), включая оценку поступления приоритетных ЗВ сосредоточенного и диффузного происхождения;
- адаптация национальных сетей мониторинга, создание информационно-аналитических ресурсов и экспертных систем, проведение калибровки систем оценки экологического состояния водных объектов для обеспечения сравнимости результатов мониторинга между странами и регионами;
- разработка и публикация программ управления водными бассейнами, нацеленных на достижение хорошего состояния водных объектов (которое определяется на основе эталонных показателей состояния, соответствующих экорегиону и типу водного объекта);
- усовершенствование системы административных и экономических мер.

Помимо официальных слушаний, положения Водной директивы требуют привлечения местного населения и заинтересованных организаций, начиная с самых ранних стадий ее внедрения. Страны – члены ЕС придают большое значение участию общественности, поскольку считается, что предоставление информации и заслушивание общественного мнения создают возможность для улучшения содержания планов управления и их более широкого признания.

Поддержка и участие общественности считаются в ЕС одним из предварительных условий охраны вод, без выполнения которого меры регулирования не увенчаются успехом. В случае диффузного загрязнения это считается особенно важным, поскольку успех зависит от того, насколько удастся убедить людей осознать проблему и изменить то, что, как правило, изменить очень сложно – свои взгляды, а главное – поведенческие привычки. Европейские граждане и общество в целом играют существенную роль в осуществлении Директивы, помогая своим правительствам сбалансировать социальные, экологические и экономические вопросы.

Например, в земле Баден-Вюртемберг (Германия), среди прочего, имеется консультативный совет по водным ресурсам. Эта группа состоит не только из представителей администрации Федеральных водных путей и судоходства и профильных министерств этой земли, но и из представителей различных инициативных групп водопользователей, таких, как промышленность, гидроэнергетика, сельское и рыбное хозяйство, торговых организаций и ассоциаций по охране природы. Задача совета заключается в консультировании Министерства окружающей среды, защиты климата и энергетики федеральной земли Баден-Вюртемберг и обеспечении обмена информацией между властями и общественными группами. В ходе подготовки управленческих планов и программ мероприятий в 2009 г. и их обновления в 2015 г. по всей федеральной земле проведено более 76 мероприятий по информированию общественности и стимулированию его участия [Implementation..., 2020].

Руководящие документы призваны обеспечить общий методологический подход к выполнению положений Директивы, однако они требуют адаптации к конкретным условиям каждого государства – члена ЕС. Исчерпывающий перечень таких документов, а также описание событий и других сопутствующих материалов доступен в специализированной электронной библиотеке Европейской комиссии [CIRCABC, 2020].

Главным инструментом стратегии внедрения Водной директивы является разработка планов по управлению речными бассейнами (River Basin Management Plans), реализующих целостный подход к управлению водными ресурсами в пределах самостоятельных географических единиц – речных бассейнов, которые объединены не административными границами, а процессами круговорота поверхностных и подземных вод, а также ЗВ в их пределах. Из этого следует, что любое решение, принимаемое в пределах речного бассейна и влияющее на количество и состав воды в одной его части, так или иначе отразится на эти параметры в другой.

Поэтому эффективное управление водными ресурсами требует подробных знаний о водопользовании и землепользовании, а также анализа и формирования соответствующей отчетности о характере их изменений в пределах речного бассейна, а не административно-территориальной единицы государства. Такая идеология помимо прочего как нельзя лучше способствует размытию границ между отдельными европейскими странами и косвенно служит дальнейшему укреплению общеевропейского самосознания. Планы разрабатываются для всех 180 выделенных речных бассейнов, включая трансграничные реки и прибрежные воды. Отдельные укрупненные отчеты объединяются рабочей группой Европейской комиссии в общий отчет, предоставляемый каждые шесть лет на рассмотрение Европейского парламента и Совета. Это весьма трудоемкий и не всегда гладко идущий процесс, требующий обработки очень больших потоков информации и материалов, подготавливаемых первоначально на двадцати различных языках. В контексте получения достоверных сведений и максимально объективного анализа существующего положения вещей, Европейская комиссия постоянно контактирует с членами ЕС, поддерживая прямую и обратную связь.

«Мы забыли, что круговорот воды и круговорот жизни – это одно и то же».

Жак Ив Кусто

Важно подчеркнуть, что планирование – это пошаговая процедура, в которой каждый последующий шаг опирается на предыдущий. Каждый шаг имеет важное значение, начиная с установления административных регламентов и процедур, за которыми следуют характеристики речных бассейнов

и факторов антропогенного воздействия, мониторинг и оценка экологического состояния водных объектов (см. выше), установление целей, разработка соответствующих программ принятия мер и их осуществление, с последующим мониторингом и оценкой эффективности, обосновывающей следующий цикл разработки планов. Длительность таких циклов составляет 6 лет [A European Overview, 2019].

Директива, в частности, указывает на то, что в планах должна быть выполнена оценка диффузного загрязнения как поверхностных, так и грунтовых вод, включая анализ характера землепользования, на водосборной территории. В ней также указывается на необходимость ведения мониторинга источников диффузного загрязнения в целях определения величины их воздействия. Одним из основных способов регулирования диффузного загрязнения считается внедрение наилучших экологически ориентированных практик (best environmental practices), описанных в других директивах ЕС и документах европейского законодательства. Таким образом, делается ставка на очень важный принцип «предупреждения загрязнения» на стадии его формирования в потенциальных источниках.

В 2012 г. дополнительно была разработана Водная концепция (Water Blueprint), нацеленная на укрепление европейской водоохранной политики и преодоления трудностей (недостаточная интеграция, отсутствие методик оценки экономической эффективности реализации программ водоохранных мероприятий и др.), препятствующих ее полноценному внедрению по всей Европе. Подготовка документа имела очень детальную информационную поддержку. Она опиралась на результаты недоступных ранее научно-исследовательских и аналитических материалов, включая первую итерацию планов по управлению речными бассейнами и серию обзоров Европейского агентства по окружающей среде, касающихся состояния природных вод и дефицита водных ресурсов [A water blueprint, 2013].

1.4.1.2. Директива по нитратам

Директива принята в 1991 г. и направлена на предотвращение попадания нитратов в грунтовые и поверхностные воды и стимулирование внедрения экологически ориентированных практик землепользования в сельском хозяйстве [Council directive, 1991].

Стратегия ее реализации предусматривает несколько основных шагов.

1. Выявление загрязненных или подверженных риску загрязнения вод, таких, как:

а) пресные поверхностные и грунтовые воды, в частности, те, что используются или предназначены для забора воды в целях хозяйственно-питьевого водоснабжения, те, что содержат или могут содержать нитраты (если не принимать никаких мер для обращения вспять тенденции) в кон-

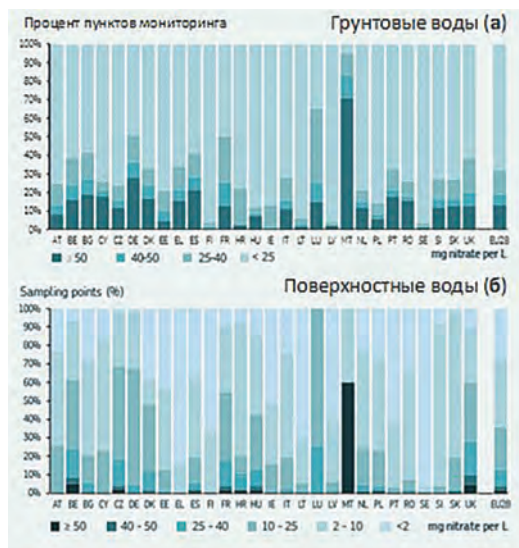


Рис. 1.35. Распределение содержания нитратов в 28 странах ЕС в грунтовых (а) и поверхностных (б) водах (2012-2015 гг.)

центрациях более 50 мг/л² (рис. 1.35);

б) пресные водоемы и водотоки, речные эстуарии, прибрежные и морские воды, которые являются эвтрофными или могут стать такими (если не будут приняты меры для обращения вспять тенденции).

2. Выделение территорий (зон), наиболее уязвимых к загрязнению нитратами (Nitrate Vulnerable Zones), в пределах которых необходимо устанавливать особые правила ведения сельского хозяйства и применять щадящие по отношению к окружающей среде приемы обработки земли (надлежащие сельскохозяйственные практики),

выращивания растений, разведения животных, а также способы внесения удобрений и утилизации органики. Некоторые государства (например, Финляндия, Германия, Дания, Ирландия) распространили действие соответствующих правил и практик на территорию всей страны (рис. 1.36).

3. Разработка кодексов надлежащей сельскохозяйственной практики, которые будут осуществляться фермерами на добровольной основе на территории всего ЕС. Кодексы должны предусматривать:

- установление периодов, в течение которых в почву должны вноситься азотсодержащие удобрения, для того чтобы они могли наилучшим образом усваиваться растениями, предотвращая тем самым образование избытков питательных веществ и их попадание в воду;
- условия внесения удобрений в зависимости от крутизны склонов, близости к водному объекту, состояния почвы (промерзшая или непромерзшая), наличие снежного покрова и т.д.;
- требования к состоянию навозохранилищ, методам возделывания почвы и почвозащитным мероприятиям, способам севооборота, созданию буферных

² Следует отметить, что такая относительно высокая концентрация нитратов (50 мг/л) в целом не часто встречается на территории ЕС, а также, например, в водных объектах, расположенных в пределах Европейской территории России. В настоящее время многие европейские страны устанавливают более жесткие нормативы по сравнению с теми, которые были установлены в 1991 г. Предельно допустимая концентрация по нитратам, установленная в России для водных объектов рыбохозяйственного назначения, составляет 40 мг/л.

защитных полос, перехватывающих поверхностный и внутрипочвенный сток в многоводные периоды года и проч.

4. Внедрение программ действий в пределах уязвимых зон, которые будут осуществляться фермерами уже в обязательном порядке. Эти программы должны включать:

- меры, уже включенные в кодексы надлежащей сельскохозяйственной практики, которые становятся обязательными в пределах уязвимых зон;
- другие меры, такие, как ограничение применения удобрений (минеральных и органических) с учетом потребностей сельскохозяйственных культур, всех видов азота, включая содержание азота в почвах, лимиты на максимальное количество азота, содержащегося в навозе³;
- рекомендации по каждому из видов мер в соответствии с почвенно-климатическими особенностями в разных регионах Европы.

5. Разработка национальных программ мониторинга и подготовка отчетов по результатам реализации программ. Каждые четыре года государства – члены ЕС должны представлять отчеты, на основе которых специальный комитет по нитратам Европейской комиссии готовит обобщенный доклад об осуществлении Директивы.

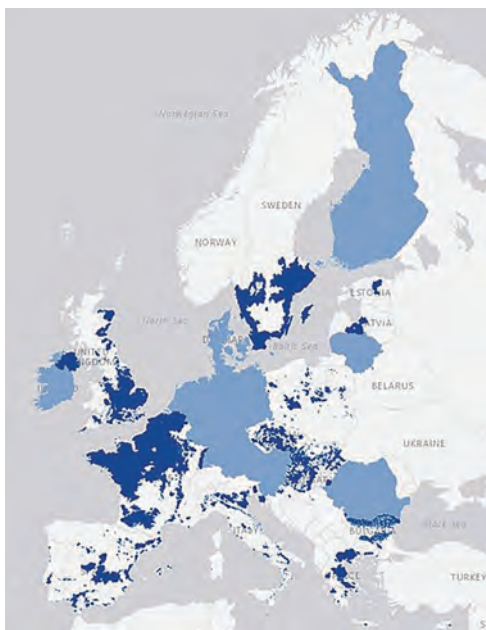


Рис. 1.36. Регионы ЕС уязвимые к загрязнению нитратами (2015 г.), на которых устанавливаются специальные режимы сельскохозяйственного производства

На территории ЕС действуют более 34 000 станций мониторинга нитратов в грунтовых водах и около 33 000 станций мониторинга поверхностных вод, т.е. в среднем по 1 станции на каждые 150–160 км² территории (7–8 станций на 1000 км²), данные из которых интегрированы в общеевропейскую систему мониторинга. Более подробно о распределении точек отбора, частоте наблюдательной сети и концентрациях нитратов можно узнать из отчета Европейской комиссии [Report from the Commission, 2018].

³ Директива по нитратам предписывает, что максимальное количество азота не должно превышать 170 кг/га*год.

Отчеты включают следующие основные вопросы:

- динамика концентраций нитратов в подземных и поверхностных водах;
- эвтрофирование поверхностных вод;
- оценка эффективности программ действий на качество воды и сельскохозяйственную практику;
- корректировка уязвимых зон и соответствующих программ, реализуемых в их пределах;
- оценка существующих трендов динамики качества воды.

Реализация Директивы предполагает высокую степень взаимодействия и сотрудничества с сельхозпроизводителями, а также принятие ряда стимулирующих к реализации ее положений мер, включая гранты и работу с фермерами на местах. Процесс поддержки Директивы заложен в Общеευропейскую сельскохозяйственную политику и приносит свои плоды.

Министерство окружающей среды, продовольствия и сельского хозяйства Великобритании во взаимодействии со специализирующимися в области охраны природы организациями (Nature England и др.) проводит консультации фермеров, направленные на рациональное природопользование и улучшение качества воды в водных объектах, в т.ч. с учетом снижения воздействия от источников диффузного загрязнения. Данная работа выполняется в рамках специальной программы по стимулированию фермеров к переходу на добровольной основе к экологически ориентированным методам ведения сельского хозяйства в пределах речных водосборов как одному из путей по выполнению Водной директивы ЕС и соответствующих ей законодательных инициатив на национальном уровне. Программой было охвачено около 20 тыс. фермерских хозяйств, или около 34 % территории сельскохозяйственных земель страны. На протяжении работы программы (около десяти лет) специальная служба консультантов по устойчивому сельскому хозяйству помогла британским фермерам по всей стране осуществить более 76 700 мероприятий (поощряемых, в том числе, через систему специальных грантов) по сокращению загрязнения воды на их землях – от изменения способа применения пестицидов до строительства новой инфраструктуры и предотвращения попадания ЗВ в водные объекты. Интересно отметить, что, согласно статистическим данным, 85% фермеров признали, что получение государственной поддержки явилось стимулом вложения собственных средств в реализацию рекомендуемых мероприятий [Environment Agency, 2019].

Большинство производителей сельскохозяйственной продукции с готовностью соблюдают правила. Трудности возникают с аккуратным ведением записей и отчетности, а также недостатком знаний, особенно среди мел-

ких фермеров, хотя главной проблемой все же остается недостаточное финансирование [Информационные материалы..., 2010].

Результаты предпринимаемых мер стали заметны только спустя почти 30 лет после принятия Директивы, даже несмотря на продолжающийся все эти годы постоянный контроль со стороны Европейской комиссии за ее внедрением по всей Европе. Идет постепенный спад потребления минеральных удобрений, а также образования избытков питательных веществ в почвах (рис. 1.37) [European waters, 2018]. Однако тенденция снижения загрязнения природных

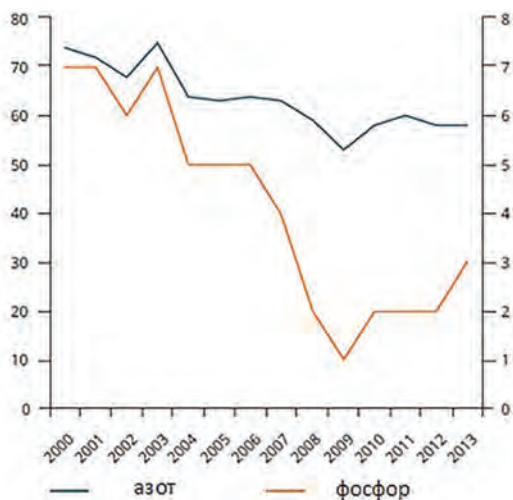


Рис. 1.37. Динамика избытков питательных веществ на с/х землях (кг/га) в 15 странах, использующих 80 % общего потребления удобрений в ЕС

вод нитратами в силу объективных организационно-правовых и экономических трудностей, а также в связи с большой инерционностью природных процессов выражена слабо, и ожидаемый эффект даже спустя такой длительный срок еще не достигнут. Например, за период с 1992 по 2017 г. средние концентрации нитратов в европейских реках снизились на 18–20% (с 2,25 до 1,87 мг/л в среднем по ЕС), в то время как в грунтовых водах их содержание практически не изменилось за указанный период и составило в среднем для ЕС 18–19 мг/л [Нитраты..., 2019]. При этом отмечается, что снижение концентрации нитратов произошло за счет двух факторов: сокращения их поступления от сельского хозяйства, а также улучшения очистки сточных вод.

Финские специалисты по экологии и окружающей среде настроены еще более скептически. Согласно результатам анализа многолетней динамики поступления биогенных элементов в акваторию Балтийского моря с территории Финляндии их количество в течение периода 1970–2015 гг. практически не изменилось, несмотря на значительное сокращение загрязнения из точечных источников. Высокий уровень питательных веществ в реках продолжает ассоциироваться с сельским хозяйством: вопреки сокращению количества удобрений, созданию фильтрующих полос и распространению методов обработки почвы, снижающих эрозию, существенного сокращения стока питательных веществ с пахотных земель не произошло (рис. 1.38).

Таким образом, несмотря на довольно действенный механизм и продолжающуюся активную деятельность по ограничению диффузного загрязне-

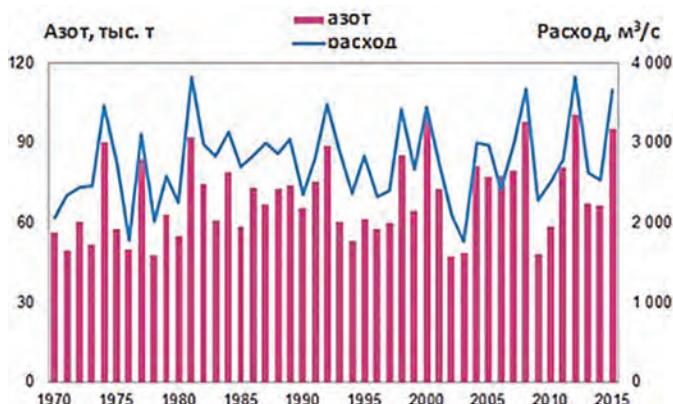


Рис. 1.38. Динамика поступления азота в Балтийское море с территории Финляндии

ния нитратами, мер, принимаемых только в соответствии с Директивой по нитратам, оказывается недостаточно для достижения хорошего экологического статуса природных вод. Это, в свою очередь, требует дальнейших усилий по расширению и адаптации усилий на уровне отдельных регионов, речных бассейнов, небольших производителей вплоть до индивидуальных ферм и подсобных хозяйств [European waters, 2018].

1.4.1.3 Директива по промышленным выбросам

Промышленное производство оказывает негативное влияние на состояние окружающей среды через загрязнение водных объектов сточными водами (сосредоточенное загрязнение), выбросами в атмосферу, является источником диффузного загрязнения почв, в том числе через атмосферные выпадения, а также утечки, потери сырья, аварийные ситуации с последующим загрязнением грунтовых и поверхностных вод [Directive 2010/75/EU, 2010].

По всей Европе загрязнение почвы затрагивает почти 250 000 участков и, как ожидается, будет продолжать расти. По оценкам Европейского агентства по окружающей среде, потенциально загрязняющая деятельность охватывает еще 3 миллиона участков по всему ЕС, многие из которых нуждаются в дальнейшем изучении для установления ущерба и необходимости восстановления почвы (очистки). Несмотря на значительные усилия, предпринятые в некоторых странах для ликвидации наиболее значимого влияния промышленности — накопленного загрязнения, потребуются десятилетия и значительные капиталовложения. За период 1990–2020 гг., согласно сведениям стран — членов ЕС, по которым доступны данные о восстановительных работах, было очищено около 80 000 локальных участков.

Директива была разработана в целях комплексного регулирования многофакторного воздействия промышленных объектов на окружающую среду. Документ обобщает ряд более ранних директив, касавшихся контроля за промышленными загрязнениями, сжигания отходов, утилизации органических растворителей, работы теплоэлектростанций и др., а также устанавливает основные принципы выдачи разрешений и контроля для крупных промышленных предприятий на основе комплексного подхода и применения (НДТ)⁴ – основного инструмента европейской экологической политики в промышленной сфере.

«Различные подходы к контролю за выбросами в атмосферу, воду или почву в отдельности могут стимулировать перенос загрязнения с одной экологической среды на другую, а не защищать окружающую среду в целом. Поэтому целесообразно предусмотреть комплексный подход к предотвращению и ограничению выбросов в атмосферу, воду и почву, к обращению с отходами, к энергоэффективности и предотвращению аварий. Такой подход будет также способствовать достижению равных условий в ЕС путем согласования требований к экологической эффективности промышленных установок» [Directive 2010/75/EU, 2010].

Для контроля за промышленными выбросами Директива предусматривает общую для Европы систему, основанную на комплексных разрешениях. Это означает, что разрешения должны учитывать полную экологическую эффективность завода, чтобы избежать переноса загрязнения с одной среды, такой, как воздух, вода и почва, на другую. Приоритетное внимание следует уделять предотвращению загрязнения в источнике его формирования и обеспечению разумного использования и управления природными ресурсами.

Под действие Директивы подпадает более 50 тыс. крупнейших промышленных установок (мощностью более 50 МВт) и животноводческих предприятий по всему ЕС, включая такие виды промышленной деятельности, как энергетика, производство и переработка металлов, минеральное сырье, химические вещества, удаление отходов, целлюлозно-бумажное производство, бойни и интенсивное выращивание птицы и свиней.

Таким образом, все промышленные установки, охватываемые Директивой, должны предотвращать и сокращать загрязнение путем применения НДТ, эффективного использования энергии, снижения образования отходов и мер по предотвращению аварий и ограничению их последствий. Установки могут функционировать только в том случае, если у них есть разрешение и они должны соответствовать установленным в нем условиям.

⁴ В оригинале Best available techniques (наилучшие доступные техники) – наиболее эффективные методы предотвращения или сокращения выбросов, которые являются технически осуществимыми и экономически целесообразными в данном секторе.

Для определения НДТ Европейская комиссия организует обмен информацией между экспертами стран – членов ЕС, промышленными и экологическими организациями. Координация работы осуществляется Объединенным исследовательским центром ЕС (г. Севилья, Испания). Результатом этого процесса является подготовка справочников по НДТ. Каждый такой документ содержит информацию о методах и процессах, используемых в конкретном промышленном секторе ЕС, текущих тенденциях в области выбросов и потребления топлива, а также о методах, которые следует учитывать при определении НДТ, а также о новых методах. Выводы, принятые Европейской комиссией для каждой технологии, впоследствии принимаются в качестве правового акта, с тем чтобы они имели обязательную юридическую силу для выдачи разрешений. Предельные значения выбросов должны устанавливаться на уровне, обеспечивающем соответствие НДТ. Превышение показателей НДТ допускается в отдельных случаях, если будет доказано, что это приведет к несоразмерным издержкам по сравнению с экологическими выгодами. Компетентные органы должны проводить регулярные инспекции установок. На этот счет Директива содержит обязательные требования к экологическим инспекциям. Государства-члены создают систему экологических инспекций и разрабатывают соответствующие планы инспекционных проверок, которые проводятся, по крайней мере, каждые 1–3 года с использованием критериев, основанных на рисках загрязнения. Также законодательно закреплено, что общественности должна быть предоставлена возможность участвовать в процессе выдачи разрешений.

В дополнение к Директиве по промышленным выбросам на европейском уровне существует ряд дополнительных законодательных актов по охране окружающей среды, которые касаются промышленной деятельности, включая те, которые устанавливают общие предельные значения выбросов, те, что требуют представления отчетности о выбросах и образующихся отходах, и те, которые предусматривают более высокое качество окружающей среды, например:

- Директива по выбросам для промышленных установок средней мощности (от 1 до 50 МВт) [Directive (EU) 2015/2193, 2015], которых насчитывается около 143 тыс. по всему ЕС. Они используются для самых разнообразных целей (для выработки электроэнергии, бытового отопления и охлаждения, обеспечения теплом или паром промышленных процессов) и являются значимым источником выбросов диоксида серы, оксидов азота, углерода и пыли.
- Директива по предельным (пороговым) выбросам [Directive 2001/81/EC, 2001] устанавливает национальные обязательства по сокращению выбросов для государств – членов ЕС в отношении пяти важных загрязнителей воздуха: оксидов азота, летучих органических соединений, диоксида серы, аммиака и тонкодисперсных частиц (размером меньше 2,5 мк), а также тяжелых металлов и некоторых других веществ, которые способствуют ухудшению качества воздуха и приводят к значительному негативному

воздействию на здоровье человека и окружающую среду.

В целях информационной поддержки создан и постоянно обновляется Европейский регистр выбросов и переноса ЗВ, который предоставляет доступ к данным ежегодной экологической отчетности промышленных объектов, относящихся к 65 видам экономической деятельности по всей Европе [European Pollutant, 2020]. По каждому объекту имеется информация, начиная с 2007 г., об объемах выбросов ЗВ в воздух, водные объекты, загрязнении почв, а также о переносе отходов и ЗВ в составе сточных вод. В список входят более 90 основных загрязнителей, включая тяжелые металлы, пестициды, парниковые газы, диоксины.

Резюмируя краткий обзор опыта ЕС, отметим, что в целом он базируется на последовательной стратегии, включающей несколько основных шагов:

1) определение параметров и сроков целевого состояния водного объекта, выраженного в измеримых показателях (химический и микробиологический состав, состояние водной экосистемы и пр.), с учетом природных особенностей и неустранимых антропогенных факторов;

2) регулирование воздействий путем внедрения наилучших экологических практик (например, в сельском хозяйстве) и НДТ (в промышленности) и иной деятельности на водосборной территории, государственное стимулирование;

3) разработка планов по управлению речными бассейнами, прогнозная оценка эффекта реализации планов, их корректировка при необходимости;

4) реализация бассейновых планов мероприятий, контроль, оценка и широкое обсуждение результатов; побуждение к принятию дополнительных мер по обеспечению целевого состояния водных объектов; регламентированное изменение сроков достижения или параметров целевого состояния в особых случаях.

1.4.2 Опыт США и стран за пределами Европы

Отправной точкой полномасштабного правового регулирования диффузного загрязнения⁵ в США считается принятие в 1987 г. Конгрессом поправок к Закону «О чистой воде» (Clean Water Act) в виде 319-й статьи⁶, согласно которой была учреждена национальная Программа по контролю за неточечными источниками загрязнения воды (Non-point sources management

⁵ В США наиболее распространен термин «загрязнение от неточечных источников» (non-point sources pollution).

⁶ Соответствующие правки были внесены и в другие статьи Закона «О чистой воде». В частности, статья 101, в которой устанавливаются общие рамки водоохранной политики и декларируются цели, была дополнена параграфом, непосредственно указывающим на необходимость контроля и предотвращения диффузного загрязнения.

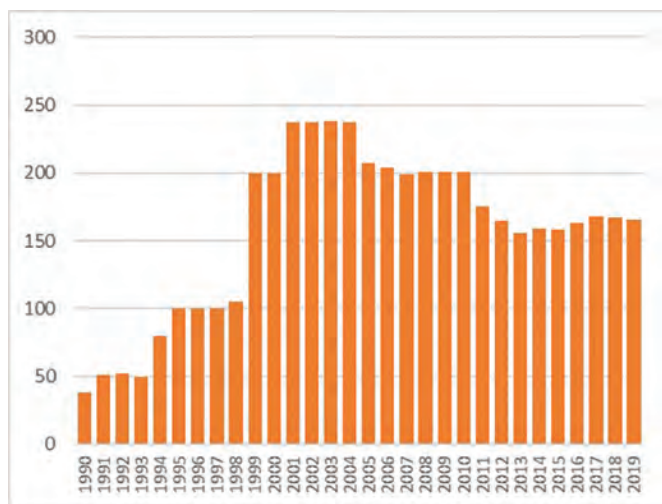


Рис. 1.39. Распределение объемов грантов (млн. долл. США), направленных на снижение диффузного загрязнения (1990-2019 гг.)

rogram), запустившая механизм государственной поддержки региональных и местных инициатив по всей стране. Дополнительные гранты доступны по линии Программы государственного содействия сохранению качества природных вод (State Water-quality Assistance Grants – SWAG) и ряда других источников. В соответствии с этими программами Агентство по охране окружающей среды США как ключевой координатор предоставляет штатам, территориям и племенам финансирование в виде грантов или беспроцентных займов на осуществление широкого круга мероприятий по выявлению источников диффузного загрязнения, снижению их негативного воздействия на водную среду и улучшению экологического состояния водных объектов. Общий объем финансирования, предоставляемого ежегодно в рамках программ по направлению диффузного загрязнения, зависит от федеральных и государственных ассигнований, однако обычно составляет около 150 млн долларов (рис. 1.39) [Интернет-портал Агентства..., 2020]. Кроме того, программы подразумевают техническую помощь и передачу технологий, профессиональную подготовку и консультирование по вопросам диффузного загрязнения, руководящие документы по мониторингу и оценке эффективности конкретных водоохранных проектов и многое другое.

В штате Флорида функционирует образовательная сеть (Florida Nonpoint Educators Network), деятельность которой касается проблем диффузного загрязнения. Сеть представляет собой информационный ресурс для государственных и местных органов власти, разработчиков, инженеров, некоммерческих организаций, школ и других лиц, целью которого является защита вод Флориды посредством обучения вопросам предотвращения источников диффузного загряз-

нения. Чтобы стимулировать сотрудничество, по всему штату проводятся региональные встречи для разработки новых идей и обсуждения прошлых успехов и уроков, извлеченных в области предотвращения диффузного загрязнения. На основе результатов, полученных на этих встречах, проводятся семинары, вебинары и создаются типовые учебные материалы. Благодаря обмену идеями и стратегиями, а также взаимодействию по разработке новых и более эффективных информационно-учебных программ создаются предпосылки для лучшей защиты окружающей среды [Интернет-портал Департамента защиты... , 2020].

Важной составляющей государственной политики является Национальная программа мониторинга неточечных источников, финансирование которой также предусмотрено ст. 319 Закона о чистой воде. В задачи мониторинга входит увязка физических, химических и биологических показателей качества воды в водном объекте с характеристиками землепользования в пределах его водосборной территории. Программа преследует две основные цели:

- ✓ обеспечить научно-обоснованную оценку эффективности водоохраных мероприятий, экологически ориентированных практик и технических приемов, применяемых на водосборной территории для снижения диффузного загрязнения;
- ✓ улучшить представление о механизмах формирования диффузного загрязнения и получить достоверную информацию о возможности осуществления его контроля.

Принято, что без достоверных данных мониторинга качества воды и, одновременно, факторов хозяйственной деятельности на водосборе невозможно осуществлять управление водными ресурсами, разрабатывать программы по предотвращению диффузного загрязнения и оздоровлению водных объектов, правильно интерпретировать результаты таких программ, оценивать эффективность принимаемых мер и обосновывать расходы выделяемых для этих целей средств.

В американском законодательстве нет четкого определения неточечного источника загрязнения. Закон «О чистой воде» формулирует его через понятие точечного источника загрязнения, который определяется в ст. 502 *как любое различное, ограниченное и обособленное сооружение, включая (но не ограничиваясь) любую трубу, канаву, канал, туннель, трубопровод, скважину, отдельную борозду, контейнер, транспорт с грузом, концентрированную операцию по кормлению животных, или судно или другое плавучее средство, из которого сбрасываются или могут быть сброшены ЗВ*. Термин не включает в себя дренажные и возвратные системы ирригации в сельском хозяйстве. Соответственно, «неточечным» считается любой другой источник, не подпадающий под данное определение. Следует отметить, что раз-

ница между этими двумя видами источников не всегда бывает однозначно различима. Наиболее ярким примером этого являются ливневые воды с урбанизированных территорий. С одной стороны, загрязнения, формирующиеся в результате тало-дождевого стока, имеют диффузную природу, с другой – они поступают в водный объект в виде сосредоточенного потока – через водовыпуски ливневой канализации, которые регулируются специальной программой в рамках Национальной системы выдачи разрешений на сбросы из точечных источников [National Pollutant, 2020] согласно ст. 402 Закона о чистой воде. Программа требует получать разрешения на выпуски ливневых вод и содержащихся в них ЗВ с определенной категории объектов: муниципальных образований с численностью жителей более 100 тыс. человек, территорий промышленных площадок, крупного строительства и др.

В США так же, как и в Европе, управление водными ресурсами базируется на бассейновом принципе, а также на проблемно-ориентированном подходе. Закон «О чистой воде» требует, чтобы штаты и территории вели мониторинг состояния природных вод и раз в два года представляли его результаты в Агентство по охране окружающей среды. Процедура позволяет выявить те водные объекты, качество воды в которых не соответствует установленным стандартам (в разных штатах стандарты могут быть разные), а также те, для которых существует угроза такого не соответствия, если не будет принято надлежащих мер. Такие водные объекты получают статус загрязненных или неблагополучных (*impaired waters*), заносятся в соответствующий реестр и ранжируются по степени загрязненности вод и нарушениям водной экосистемы. Периодическая отчетность штатов позволяет Конгрессу оценить прогресс в достижении целей, установленных законодательством, принять решение о приоритетности дальнейших действий по улучшению состояния водных объектов и финансировании природоохранных мероприятий.

Бассейновый подход, который применяется в США при управлении водными ресурсами и качеством воды, основан на несколько ключевых принципах:

1. Географическая обусловленность.

Водоохранные мероприятия ориентированы на конкретные географические районы, известные как участки управления. Когда речь идет о загрязненном поверхностном стоке, эти участки определяются границами водосбора. Если ставится цель улучшить состояние грунтовых вод, то границы участков включают зоны питания соответствующих водоносных горизонтов. В каждом конкретном случае предполагается проведение специальных исследований и принятие научно обоснованных решений.

2. Выявление проблем и установка приоритетов.

В основе любой водоохранной программы лежат хорошо обоснованные научные данные об источниках и причинах ухудшения качества воды и/или

деградации водной экосистемы. Исходное состояние водного объекта, его водосбора, условий формирования водных ресурсов, качества воды, хозяйственная деятельность в пределах рассматриваемого участка управления тщательно документируются. Далее определяются основные проблемы, степень их обусловленности перечисленными выше факторами, а также влияние на благополучие и здоровье населения или установленные цели водопользования.

3. Вовлечение общественности, партнерские отношения и интеграция.

Общественность и другие заинтересованные стороны, которых непосредственно затрагивают принимаемые решения, принимают участие в процессе, начиная с самых ранних этапов. Это закреплено законодательно и дает гарантии поддержания хорошего уровня жизни, экономической стабильности, экологической безопасности местных общин, консолидирует действия разных групп людей и организаций, закладывая основы эффективности водоохраных программ в долгосрочной перспективе.

4. Экологически ориентированные цели и задачи.

Успех реализации водоохраных программ определяется в конечном итоге в зависимости от того, произошли сдвиги в сторону улучшения качества воды или состояния водной экосистемы или нет, и в меньшей степени зависит от других формальных признаков и целей водоохраной программы, таких, как, например, восстановление прибрежной растительности или создание искусственного порога в русле реки для улучшенной аэрации воды.

Подход в равной степени применим как к крупным, так и к небольшим водосборам. Однако в водоохраной практике пространственный масштаб составляет, как правило, не более 200–250 км². Для городских территорий размеры водосбора могут быть на два порядка меньше. Пространственный масштаб зависит от местных условий и наличия финансирования и, в конечном итоге, определяется специалистами и ответственными лицами на местах.

В обязанности штатов входит разработка программы восстановления качества воды, основой которой является оценка общей максимально допустимой нагрузки (Total Maximum Daily Load – TMDL) для всех водных объектов, занесенных в реестр. Как правило, нагрузка рассчитывается отдельно по каждому приоритетному ЗВ для каждого водного объекта. Общая формула для расчета выглядит следующим образом:

$$TMDL = \Sigma WLA + \Sigma LA + MOS,$$

где

WLA – нагрузка ЗВ в составе сточных вод (точечные источники);

LA – нагрузка ЗВ от неточечных источников;

MOS – добавочный член уравнения, который интегрально учитывает возможные вариации объемов загрязнений, связанные с изменением водности.

От таких оценок требуется также, чтобы они были выполнены с учетом возможной перспективы развития территорий. Там, где это возможно, должен также учитываться природный фон [Guidelines..., 2002]. Законодательство не ограничивает штаты в выборе пространственного масштаба водного объекта и соответствующего бассейна, для которых рассчитывается максимальная допустимая нагрузка. Однако в Законе «О чистой воде» закреплена обязанность регионов предоставлять свои расчеты в Агентство по охране окружающей среды для корректировки (при необходимости) и утверждения. Агентство, в свою очередь, оказывает методическую помощь региональным властям в соблюдении и правильной интерпретации законодательства, проведении мониторинга, расчетов и подготовке необходимой документации [Dressing et al, 2016; Handbook..., 2008; Resources..., 2020].

Расчеты максимальной допустимой нагрузки на водные объекты выполняются с использованием целого ряда методов, от относительно простого метода баланса масс ЗВ до сложных подходов, основанных на моделировании качества воды. Сложность варьируется в зависимости от различных факторов, включая тип водного объекта, особенности условий формирования водных ресурсов и путей поступления приоритетных ЗВ.

Процедура установления максимальной допустимой нагрузки в общем виде состоит из нескольких шагов:

- анализ качества воды и выбор приоритетного ЗВ (одного или нескольких);
- оценка ассимиляционной способности водного объекта (какое количество ЗВ водный объект способен принять, чтобы при этом концентрации этого ЗВ в воде не превышали установленных нормативов);
- расчет существующей нагрузки по каждому из ЗВ из всех источников и определение необходимых сокращений объемов поступления загрязнений для обеспечения ассимиляционной способности водного объекта;
- распределение (с запасом безопасности) допустимой нагрузки по ЗВ между различными источниками загрязнений таким образом, чтобы сумма сбросов не превышала общую максимальную допустимую нагрузку для водного объекта с учетом неопределенностей, вызванных колебаниями водности, влиянием фоновых условий и др.;
- разработка плана действий и реализации необходимых водоохраных мероприятий, направленных на достижение установленных нормативов качества воды.

Расчитанные предельные объемы ЗВ, допустимые к отведению в водные объекты и не приводящие к нарушению установленных стандартов (нормативов) качества воды, в долгосрочной перспективе служат основой для регулирования потоков ЗВ от каждого из источников загрязнения и установления соответствующих квот (лимитов на сбросы) для каждого загрязнителя в пределах водосборной территории. Квоты на сбросы являются предметом торговли и могут перераспределяться между источниками за-

грязнения (хозяйствующими субъектами) таким образом, чтобы суммарная нагрузка в пределах речного водосбора не превышала установленных максимальных допустимых значений. Процесс установления максимальной допустимой нагрузки имеет важное значение для повышения качества воды, поскольку является связующим звеном между стандартами качества воды, причинами его ухудшения и осуществлением мер, направленных на достижение этих стандартов в конкретном водном объекте. Среди целевых показателей водоохранных мероприятий отдельных штатов особое внимание уделяется следующим:

- возможности использования реки или озера для рекреации (купание и ловля определенных видов рыбы, например, форели);
- поддержанию допустимых уровней содержания ЗВ для обеспечения целевого использования водного объекта (например, содержанию растворенного кислорода в концентрациях, достаточных для дыхания рыб);
- защите и сохранению водных объектов с высоким качеством воды и хорошим экологическим состоянием. Методы определения соответствия водных объектов стандартам качества, а также сами стандарты могут пересматриваться раз в 2–3 года на основе новой доступной информации, данных мониторинга и пр. с учетом результатов общественных слушаний, мнений местных органов власти, профильных организаций и экспертного заключения Агентства по охране окружающей среды. Обновленную версию стандартов см. в [Electronic Code..., 2017].

Проекты по оценке общей максимальной допустимой нагрузки разрабатываются таким образом, чтобы установить основные причины и выявить источники ухудшения качества воды и его несоответствия установленным стандартам, и являются основой для разработки планов конкретных водоохранных мероприятий для каждого водного объекта и его бассейна (Watershed Implementation Plans). Например, такие планы могут включать рекомендации по совершенствованию методов ведения сельского хозяйства, ремонту или замене септиков или систем канализации для отдельной общины, культивированию водных растений, ограничение застройки территорий, а также более жесткие требования, предъявляемые к очистке сточных вод.

Агентство по охране окружающей среды ведет статистику успешных проектов в рамках национальной Программы по контролю за неточечными источниками загрязнения (более 800 по состоянию на 2020 г.), реализация которых позволила достоверно улучшить качество воды и восстановить полностью или частично экосистему водных объектов. Критерием успешности служит полное достижение изначально поставленных целей и удаление водного объекта из перечня неблагополучных или, по меньшей мере, частичное достижение целей и явно выраженная тенденция в улучшении его состояния, которая позволит сделать такое удаление в обозримой перспективе.

С одной стороны, это дает возможность регионам рассказать о том, где и каким образом их усилия привели к улучшению качества воды в водоемах, подверженных воздействию диффузного загрязнения, формируя косвенным образом стимулы для аналогичных мероприятий в других частях страны. С другой стороны, это способ представления информации, который позволяет Агентству по охране окружающей среды отслеживать результативность своей работы и эффективность принимаемых мер [Success Stories..., 2020].

Разница в управлении сбросами от точечных и неточечных источников, после того как лимиты нагрузки установлены, заключается в том, что первые регулируются путем обязательного получения соответствующих разрешений и выполнения прописанных в них условий, а последние – в большей степени через экономические стимулы (гранты), т.е. на добровольной основе.

Следует отметить, что к началу 2000-х гг. США добились кардинального улучшения качества очистки стоков и существенного снижения объемов ЗВ в составе сточных вод (точечные источники), в то время как в отношении диффузных источников успехи не так заметны.

К 2016 г., т.е. через 28 лет после внесения регулирующих поправок в водное законодательство, диффузное загрязнение продолжает считаться одной из основных причин неудовлетворительного состояния водных объектов, отнесенных к категории «неблагополучных» (табл. 1.25).

Таблица 1.25

Статус водных объектов в США [National Nonpoint..., 2016 с изменениями]

Статус водного объекта		Водотоки (реки и ручьи), мили	Площадь водоемов (озера, водохранилища и пруды), акры
хороший		487 299	5 470 004
угроза ухудшения		5 550	34 621
неблагополучный	(всего)	614 153	13 009 273
неблагополучный	(по причине диффузного загрязнения)	339 136	6 741 505

Среди ключевых источников диффузного загрязнения Агентством по охране окружающей среды США выделяются следующие.

1. Сельское хозяйство.

Сельскохозяйственная деятельность считается основным источником загрязнения рек, ручьев, эстуариев и грунтовых вод, вторым по величине источником ухудшения состояния водно-болотных угодий и третьим по вели-

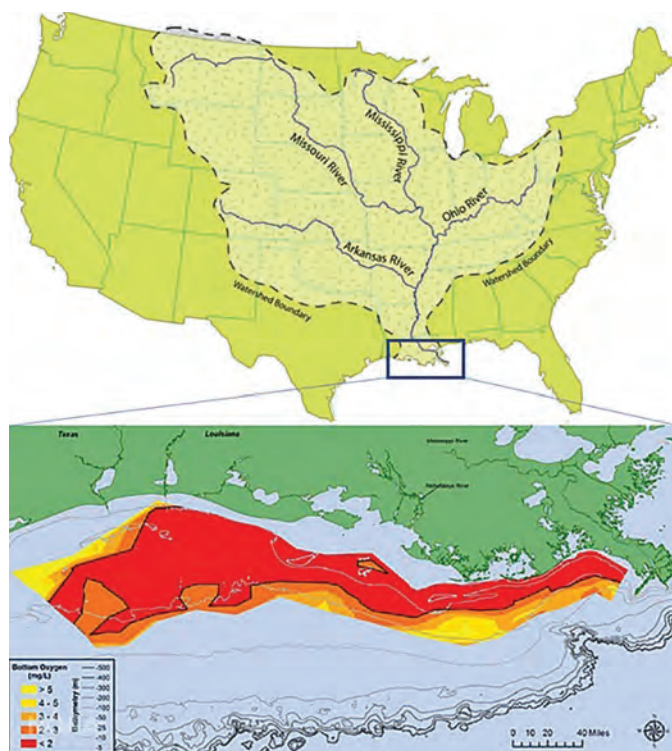


Рис. 1.40. Зона гипоксии в приустьевой области р. Миссисипи в Мексиканском заливе (2017 г.)

чине источником диффузного загрязнения озер. Негативное воздействие, как правило, вызвано плохой организацией кормления животных и утилизацией навоза, перевыпасом скота, ведущим к почвенной эрозии, неправильным применением удобрений и ядохимикатов.

К наиболее острым проблемам, ведущей причиной которых считается сельское хозяйство, относятся цветение воды в Мексиканском и Чесапикском заливах Атлантического побережья США, вызванное поступлением избыточных количеств азота и фосфора с обширной водосборной территории рек Миссисипи и Саскуэханна и эвтрофирование Великих озер, в частности оз. Эри. На рис. 1.40 представлен пример распространения зоны гипоксии в устьевой области р. Миссисипи, т.н. мертвой зоны, мониторинг которой ведется с 1985 г. Острый дефицит кислорода вызван поступлением в залив биогенных элементов, главными источниками которых считаются сельскохозяйственные территории и городские сточные воды. Биогены провоцируют вспышки цветения воды в верхних более прогретых горизонтах воды с последующим разложением образующейся органики. Плотностная стратификация препятствует перемешиванию водных слоев. Максимум распространения зоны гипоксии был зафиксирован в 2017 г.,

когда она распространилась на акваторию площадью почти 23 тыс. км². По оценкам Геологической службы США, которые основывались на данных 3000 автоматических станций измерений расходов воды и 60 станций измерений концентраций биогенных элементов, только в мае 2017 г. с водосбора в р. Миссисипи было вынесено 165 тыс. т нитратов и более 22 тыс. т фосфора.

В рамках специальной партнерской программы защиты и сохранения Мексиканского залива Агентство по охране окружающей среды финансирует научные исследования, выполнение работ по мониторингу качества воды, водоохраные мероприятия в прибрежной зоне и на водосборной территории, проводит консультации, повышая осведомленность водопользователей, фермеров и землевладельцев об условиях формирования водных ресурсов в бассейне р. Миссисипи, путях поступления загрязнений, экологически эффективных технологиях землепользования и природоохранной деятельности. Более подробно на данную тему см., например, материалы Национального управления океанических и атмосферных исследований США (National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA) [Gulf of Mexico..., 2020].

В 2012 г. Департамент сельского хозяйства в сотрудничестве с Агентством по охране окружающей среды приступил к осуществлению Национальной инициативы по качеству воды (National Water Quality Initiative – NWQI) [Интернет-портал департамента сельского хозяйства США (1)]. Данный проект нацелен на сокращение поступления биогенных элементов, взвешенных веществ и патогенных микроорганизмов от неточечных источников в пределах пилотных сельскохозяйственных водосборов, которые были специально отобраны в каждом штате специалистами Службы сохранения природных ресурсов по итогам консультаций с региональными агентствами, контролирующими состояние природных вод. Водосборы были выбраны таким образом, чтобы гранты и целевые инвестиции фермерам покрывались за счет финансирования, предусмотренного в ст. 319 Закона «О чистой воде», Программой по сохранению окружающей среды (Environmental Quality Incentives Program – EQIP) и рядом других природоохранных программ для водных объектов, наиболее подверженных диффузному загрязнению и требующих принятия скорейших мер для улучшения качества воды [Интернет-портал департамента сельского хозяйства США (2)].

Регулирование источников диффузного загрязнения в сельском хозяйстве частично выполняется через отдельные программы, учрежденные Законом «О продовольственной безопасности» (Food Security and Rural Investment Act), который прямо указывает на необходимость внедрения в практику сельского хозяйства экологически ориентированных методов землепользования. Среди таких программ следует выделить уже упомянутую выше Программу по сохранению окружающей среды, по которой производятся поощрительные выплаты фермерам для внедрения методов управления биогенными веществами и навозом, комплексной

борьбы с вредителями с учетом сохранения среды обитания диких животных и др.

Кроме того, был запущен образовательный проект, призванный повысить уровень понимания федеральными и региональными агентствами, предприятиями и организациями агропромышленного сектора, фермерами тех факторов и процессов в сельском хозяйстве, которые оказывают негативное влияние на качество воды. Акцент сделан на деятельность, связанную с разведением животных и утилизацией навоза. Проект предполагает видеозаписи по фермам, обсуждение передового опыта экологически ориентированного землепользования, мероприятий по защите водных объектов и др.

2. Урбанизированные территории.

В городах сосредоточен большой процент трудно проницаемых поверхностей, уменьшающих просачивание воды и способствующих поверхностному смыву ЗВ различной природы, накапливающихся на городских улицах: нефтепродукты, смазочные материалы, органика, химические реагенты, тяжелые металлы (продукты истирания двигателей и тормозных колодок автомобилей, дорожных покрытий), сажа, бактерии, вирусы и проч. Для многих городов с комбинированной системой канализации характерны переполнение коллекторов и изливы сточных вод во время дождевых паводков.

Для регулирования диффузного загрязнения с урбанизированных территорий, промышленных объектов и строительных площадок применяется комбинированный подход, включающий:

- сбор и централизованную очистку стоков там, где это возможно и экономически эффективно, т.е. превод неточечных источников в точечные;
- проведение структурных и неструктурных мероприятий, направленных на снижение объемов поступления ЗВ в месте их образования и/или уменьшение количества неточечных источников.

Около 1/3 объемов поверхностно-дренажного стока с территории г. Нью-Йорк практически никак не очищается. Остальная часть по комбинированной системе канализации поступает на станции очистки сточных вод. В многоводные периоды года нередки случаи переполнения коллекторов и излива смешанных стоков на поверхность. По некоторым оценкам, ежегодно в местные реки попадает до 75 млн м³ загрязненных вод с городской территории.

В г. Бостон для таких случаев был построен Южный Бостонский туннель для перехвата поверхностного стока и временного хранения сточных вод с последующей постепенной подачей на очистные сооружения.

Аналогичный проект разработан для г. Вашингтон, где помимо строительства накопительных емкостей предусмотрено создание объектов «зеленой» инфраструктуры, дренирующих территорию общей площадью более 2 км².



Рис. 1.41. «Зеленые крыши» уменьшают дождевой сток и отфильтровывают загрязняющие вещества

В г. Толедо (штат Огайо) местные власти потратили 315 млн долларов на реконструкцию системы сбора и очистки стоков, сократив тем самым количество случаев переполнения коллекторов в среднем с 35 до 4 раз год.

Филадельфия делает акцент на зеленые технологии (биопруды, дождевые сады, снижение доли водонепроницаемых поверхностей) [Chaisson, 2017].

Неструктурные мероприятия включают различные законодательные инициативы, разработку правил, регламентирующих хозяйственную деятельность, установление водоохранных зон, консультации и образовательные программы. Результаты их проведения могут сразу охватывать значительную территорию и несколько частных водосборов. Структурные мероприятия, такие как, устройство биофильтрационных зон или травополос нацелены, как правило, на решение проблем качества воды конкретного ручья. На более крупных участках рек могут создаваться, например, биопруды или полосы древесно-кустарниковой растительности вдоль берегов, при этом самые верхние звенья гидрографической сети могут остаться неохваченными водоохранными мероприятиями. Окончательный выбор делается на местах в зависимости от соотношения финансовых возможностей и прогнозируемого эффекта.

Идеология городского развития движется в сторону «зеленой» инфраструктуры и низкого уровня воздействия на окружающую среду (Low Impact Development – LID).

«Зеленая» инфраструктура использует растительность, почвы, элементы рельефа для восстановления некоторых естественных процессов, необходимых для управления водными ресурсами и создания более здоровой городской среды (рис. 1.41). Подходы и принципы создания «зеленых» городских территорий, а также ссылки на соответствующие информационные ресурсы и приме-

ры можно найти, например, в работе [Storm Smart..., 2017]. В масштабах города или округа «зеленая» инфраструктура представляет собой массивы природных территорий, обеспечивающих среду обитания, защиту от наводнений, более чистый воздух и более чистую воду. Таким образом это понятие выходит за рамки городской инфраструктуры и очистки ливневых сточных вод.

Системы управления ливневыми стоками имитируют процессы накопления и впитывания поверхностного стока [Staying Green..., 2013]. Неотъемлемым элементом эффективной работы таких систем

является их периодический осмотр и обслуживание, что закрепляется законодательно. LID-технологии используются при обустройстве участков новой застройки или реконструкции отдельных городских кварталов и позволяют сохранить и/или воссоздать природные особенности территории, свести к минимуму непроницаемые поверхности для создания функциональных и привлекательных на вид элементов системы водоотведения поверхностно-дренажного стока. Существует много видов практических решений, которые используют природные процессы самоочищения воды при испарении, инфильтрации, биохимическом окислении, поглощении растениями и проч. К принципам создания «зеленой инфраструктуры» городских территорий относятся: сохранение и воссоздание природных ландшафтных элементов, повышение проницаемости поверхности путем создания функциональных и привлекательных на вид участков, дренирующих воду перед тем, как она попадет в ливневую канализацию. К настоящему времени разработаны многочисленные инженерно-экологические приемы и практики, которые применяются для соблюдения этих принципов.

Среди них можно выделить: дождевые сады и пруды, зеленые крыши, биофильтрационные лотки – элементы зеленой инфраструктуры города, перехватывающие воду перед тем, как она попадет в ливневую канализацию, проницаемые тротуары (рис. 1.42). Благодаря этим приемам управление водными ресурсами может осуществляться, обеспечивая уменьшение воздействия застроенных районов и способствуя более естественному движению воды в пределах городского водосбора, поддерживая и/или восстанавливая его гидрологические и экологические функции. Таким образом реализуется



Рис. 1.42. Специально спроектированный кювет автодороги с элементами ландшафтного дизайна, перехватывающий и очищающий поверхностный сток (г. Портленд, штат Орегон)



Рис. 1.43. Реализованные проекты зеленой инфраструктуры ливневой канализации в г. Филадельфия

принцип: снижение диффузного загрязнения должно осуществляться как можно ближе к источнику его образования.

Среди дополнительных преимуществ такого подхода можно выделить следующие:

- лучшие ландшафтный дизайн, эстетические свойства и рекреационная привлекательность городской среды, что косвенным образом сказывается на увеличении стоимости жилой и коммерческой недвижимости в таких районах;
- снижение в большинстве случаев затрат на обустройство территории (меньшая необходимость в планировке территории, асфальтовых покрытиях, прокладке ливневых коллекторов);
- уменьшение рисков и негативных последствий, связанных с переполнением ливневых коллекторов, снижение затрат на их эксплуатацию. Более подробно с преимуществами технологий можно ознакомиться в серии публикаций Агентства по охране окружающей среды США [Urban Runoff, 2020].

Экономическая оценка около двух десятков проектов по всей стране показала, что при использовании LID-технологий в большинстве случаев наблюдается снижение капитальных затрат на 15–80% по сравнению с традиционными методами сбора и обработки ливневых вод. Например, в г. Филадельфии за два года с использованием LID-технологии было заменено около 5 км² непроницаемых покрытий (парковки, дороги и др.), что позволило уменьшить формирование поверхностного стока за этот период на 2 млн м³. Сооружение хранилища эквивалентного объема совокупного пере-

лива ливневых коллекторов обошлось бы городу примерно в 340 млн долларов. Один из проектов, разработанных Департаментом водных ресурсов Филадельфии, для улавливания и фильтрации первых 15–20 мм осадков, выпадающих над частным водосбором, позволил использовать местный заболоченный массив для перехватывания более 250 тыс. м³ стоков и предотвращения ежегодного попадания в русла местных рек около 13 т осадков. К 2036 г. путем реализации проектов зеленой инфраструктуры в городе планируется снизить поступление загрязненных ливневых вод в р. Делавэр на 85% (рис. 1.43) [Green..., 2020].

3. Объекты транспортной инфраструктуры.

Строительство дорог, автомагистралей и мостов часто приводит к увеличению поступления взвешенных веществ в водные объекты, их дальнейшему отложению на дне, заиливанию и снижению водопрпускной способности русел рек, нарушению местообитаний гидробионтов и дополнительному поступлению в воду органических веществ, содержащихся в частичках почвы и грунта. Автодороги являются также источником химических загрязнений (тяжелых металлов, горюче-смазочных материалов и др.).

4. Гавани и рекреационное водопользование.

Скопления большого количества судов на акватории, а также общие тенденции освоения прибрежной территории оказывают негативное влияние на экосистемы водных объектов через такие виды хозяйственной деятельности и процессы, как ремонт и покраска лодок, заправка топливом, прямые утечки и выхлопы из двигателей, мытье палуб, прикорм рыбы и др.

5. Лесное хозяйство.

Ведущими факторами являются:

- заготовка древесины и сведение растительности по берегам рек, что приводит к снижению устойчивости берегов, активизации процессов эрозии и увеличению поступления взвешенных веществ, а также уменьшает затененность и увеличивает температуру воды, ухудшая тем самым привычные условия местообитания водных организмов;
- строительство и использование лесных дорог, подготовка территории к посадке деревьев и другие лесохозяйственные операции, ведущие к эрозии и поступлению органических веществ.

6. Шахтные воды.

Места разработки полезных ископаемых и заброшенные шахты являются источником поступления в водные объекты кислых вод, содержащих растворы серной кислоты, железа и многих других тяжелых металлов (медь, свинец, ртуть и др.).

Примечательно, что к проблемам, ассоциирующимся с диффузным загрязнением, относят и изменение гидрологического режима и морфометрии водных объектов, а также состояние водно-болотных угодий. Строительство плотин и каналов, спрямление русел рек, укрепление берегов, в том числе бетонными стенками, часто негативным образом сказывается на характеристиках речного потока, вызывает деградацию местообитаний рыб и других водных организмов, нарушают естественные процессы самоочищения воды, лишают водный объект естественных барьеров (био- и геофильтров), препятствующих распространению загрязненного поверхностного и грунтового стока. То же самое относится к болотам, а также различного рода старицам и обводненным участкам речных пойм, которые представляют собой естественные буферные емкости на пути распространения загрязнений от неточечных источников к водным объектам, сорбируя взвешенные вещества, биогенные элементы, металлы и патогенные микроорганизмы.

Важно подчеркнуть, что, так же, как и в Европе, в США диффузное загрязнение регулируется документами самого высокого юридического уровня (аналогами Водного Кодекса в Российской Федерации). В целом экологическое законодательство указанных стран (регионов) характеризуется обилием детально проработанных подзаконных актов и других документов (руководств, пособий, методических рекомендаций и проч.), помогающих разъяснить, правильно интерпретировать и применять на практике положения основных документов, а также конкретизировать этапы достижения поставленных целей.

Отдельный интерес представляет опыт другого северо-американского государства – Канады в предотвращении дальнейшей деградации экосистем Великих озер, ответственность за которую страна разделяет с США. Негативным последствием длительного загрязнения озер и развития хозяйственной деятельности на их водосборах и прибрежных участках стали: масштабное цветение воды, поступление опасных химических соединений, потеря биоразнообразия и мест обитаний живых организмов, закрытие пляжей и сокращение мест для рекреации, ограничение рыбной ловли, в том числе в результате накопления в тканях рыб опасных для здоровья людей веществ.

В 1972 г. между странами было подписано двустороннее Соглашение о качестве воды в Великих озерах (далее – Соглашение), заявленная цель которого – восстановление и поддержание химической, физической и биологической целостности природных вод Великих озер и их экосистем. Это один из показательных примеров международного сотрудничества в области реализации водоохранных мероприятий за пределами Европы. Изначально в фокусе стояло улучшение очистки сточных вод и сокращение использования фосфорсодержащих моющих средств. Однако за время своего существования документ претерпел заметные изменения и был дополнен рядом важных положений в 1978, 1987 и в 2012 гг. [Savitri, Krantzberg, 2014]. Например, загрязненный поверхностный сток как причина ухудшения качества воды был признан в 1987 г. [Great Lakes, 2012]. Существенные дополнения были внесены в 2012 г. и касались прибрежных экосистем, водных

инвазивных видов, деградации среды обитания и последствий изменения климата. Таким образом был сделан серьезный шаг в сторону экологии озер в целом, по сравнению с предшествующими версиями, в которых преобладал гидрохимический подход. Критические комментарии см., например, [Krantzberg, 2007]. Соглашение включает 13 статей с целями и задачами общего характера и 10 приложений, касающихся приоритетных проблем экологического характера, механизмов по их преодолению и направлений взаимодействия.

Прямые выгоды от экологической реабилитации Великих озер оцениваются, как минимум, в 50 млрд долларов США, из них туризм, рыбная ловля и рекреация оцениваются в размере от 6.5 до 11 млрд долларов, а недвижимость в прибрежных районах после реабилитации проблемных зон вырастет в цене на общую сумму от 12 до 19 млрд долларов. Ожидается, что в среднем каждый вложенный в улучшение экологического состояния озер доллар (при достижении целей) должен принести от 2 до 3 долларов дохода. Не считая того, что регион станет более привлекательным для развития бизнеса и привлечения рабочей силы [Healthy Waters..., 2007; Assessing..., 2018].

Одним из таких механизмов является выделение областей повышенного внимания или проблемных зон (Areas of Concern – АОС) – участков акватории, которые не соответствуют экологическим требованиям и/или для которых нарушаются условия водопользования (невозможность купания, запрет на вылов и потребление рыбы, ограничения в использовании воды для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения и др.). Для каждой из таких областей, включая прибрежные и водосборные территории, разрабатывается План действий по восстановлению утраченных потребительских свойств и экологических функций, целью которого является достижение гидрохимических, гидроэкологических, санитарных критериев в зависимости набора действующих факторов и местных условий (рис. 1.44).

Кроме того, для каждого из озер разрабатывается свой План действий по восстановлению и защите экосистем, выполнение которого включает три основных шага: 1) выявление экологических рисков и их причин, 2) планирование и реализация мероприятий, направленных на оздоровление водного объекта, 3) мониторинг качества воды и состояния экосистемы с последующим принятием решения об удалении рассматриваемого участка из списка проблемных.

В процесс разработки и реализации таких планов помимо агентств окружающей среды США и окружающей среды и изменения климата Канады вовлечены правительства штатов и провинций, местные муниципалитеты, многочисленные партнерские организации и общество в целом. Координация работ осуществляется несколькими межправительственными



Рис. 1.44. Категории участков повышенного внимания (проблемные зоны) в двустороннем соглашении Канады и США по качеству воды Великих озер (по состоянию на 2020 г.)

ми комитетами и рабочими группами. Существенная роль в Соглашении отводится научным исследованиям, которые позиционируются как основа всех планов и стратегических решений по оздоровлению озер. В частности, научное обоснование водоохранных программ стоит на первом месте среди принципов, стоящих в основе реализации совместного Плана действий правительства Канады и провинции Онтарио – канадской части инициативы по снижению фосфорной нагрузки на оз. Эри [Canada..., 2018].

«Не говори «плюх», если до озера дюжина миль по болотам».

Макс Фрай

Надо сказать, Канада предпринимает значительные усилия в отношении сокращения сбросов сточных вод, уменьшения потоков ЗВ от диффузных источников с одновременным проведением дополнительных мер по улучшению условий формирования качества воды, эстетики околородного пространства и биоразнообразия. Чтобы восстановить водную экосистему, нарушенную вследствие длительного и масштабного антропогенного воздействия, все очевидней становится необходимость комплексного подхода, который не ограничивается только контролем точечных источников загрязнения, а требует сдвигов парадигмы государственной политики в сторону интегрированного управления качеством воды, в том числе через регулирование хозяйственной деятельности на водосборе и создания условий самоочищения водных объектов, пойм и водно-болотных угодий. И хотя говорить о решении всех проблем еще рано, представляется, что направле-

ние выбрано верно, и уже видны первые положительные результаты. Ниже приведены некоторые характерные примеры.

Залив Северн (оз. Гурон).

Площадь залива (цифра 1 на *рис. 1.44*) составляет около 130 км², а водосборная территория – 1000 км². Залив характеризуется сильно изрезанной береговой линией. Диапазон изменения глубин – от 2–4 с увеличением до 43 м на участке, примыкающем к основной части озера. Таким образом, залив можно считать аналогом крупного водохранилища. Территория довольно густо населена: постоянных жителей – 110 тыс. человек и еще около 300 тыс. человек – сезонного проживания. Урбанизированные участки канализованы на 9 очистных сооружений, многочисленные частные домовладения канализуются по отдельной схеме. Кроме того, на водосборной части залива имеется более 900 небольших фермерских хозяйств. Около 270 км² используется под пашни и пастбища для крупного рогатого скота [Severn..., 2020].

Причины, по которым залив в 1987 г. был выделен как территория экологического риска (проблемная зона) заключались в:

- деградации популяций рыбы, диких животных и бентосных организмов,
- цветении воды и запретах на купание,
- потере многих местообитаний.

Было установлено, что эвтрофирование вод залива происходит из-за сбросов сточных вод, сельскохозяйственной деятельности на водосборе, а также освоения прибрежных территорий под застройку.

Действия по реабилитации включали:

- уменьшение фосфорной нагрузки на озеро, для чего были модернизированы 4 из 9-ти муниципальных очистных сооружений на сумму 23 млн канадских долларов, выделенных правительством канадской провинции Онтарио, ликвидированы все байпасы сточных вод и исключены изливы в общесплавной системе канализации, улучшена работы систем канализования стоков от частного сектора (в частности, инспекционной проверке подверглись коммуникации около 3 тыс. отдельных домовладений, по результатам которой 600 из них были реконструированы);
- для 4 речных водосборов совместно с фермерами были разработаны программы утилизации навоза и стоков молочных ферм, также был ограничен доступ пасущихся животных к местным ручьям и рекам;
- более 6 млн канадских долларов государственной поддержки было направлено на восстановление местообитаний и охрану участков формирования стока (водно-болотных массивов и источников их питания) общей площадью более 410 га;
- для рек, непосредственно впадающих в залив, реализовано более 130 проектов по созданию буферных полос древесно-кустарниковой расти-

тельности и созданию зеленых корридоров, соединяющих узлы охраняемой природной территории;

- на свои утраченные некогда местообитания были реинтродуцированы лебеди-трубачи, чему способствовал специальный запрет на сброс токсичных вод, содержащих свинец;
- в решение вопросов реабилитации были вовлечены широкая общественность, волонтеры, экологические ассоциации и местные муниципалитеты; планы по реабилитации освещались в средствах массовой информации.

По завершении в 2002 г. программы, которая длилась около 15 лет, а также после соответствующего мониторинга в течение последующего года залив Северн был официально исключен из списка объектов экологического риска.

Гавань Уитли (оз. Эри).

Гавань площадью 21 га и примыкающие к ней болотный массив с небольшой речкой были внесены в список проблемных зон в 1985 г. (цифра 2 на рис. 1.44). Основные экологические проблемы были вызваны присутствием ПХБ, загрязненными донными отложениями, высокими концентрациями фосфора и болезнетворных бактерий, низкой прозрачностью воды и утерей местообитаний многих видов животных. Исторически прибрежные воды загрязнялись сбросами промышленных предприятий, в основном рыбо- и овощеперерабатывающими заводами, а в начале 1970-х гг. стало очевидно, что в загрязнении все большую роль начинают играть неточечные источники, в частности, сельское хозяйство и просачивание из септиков местных домовладельцев [Wheatley Harbour..., 2017]. Среди критериев водопользования, которые предусмотрены в Соглашении для проверки нарушенности экологического состояния природных вод, для гавани были выделены следующие:

- деградация популяций и местообитаний диких животных;
- опасность употребления в пищу местной рыбы;
- эвтрофирование.

Эти и подобные им критерии являются своего рода маяками экологического благополучия и широко применяются в США и Канаде для целеполагания и последующей оценки эффективности водоохраных программ. Часто используемыми критериями также являются возможность для купания, ловля рыбы и безопасность использования водного объекта в целях хозяйственно-питьевого водоснабжения.

«Здоровые водосборы дают нам здоровье Великих озер».

Из экологической дорожной карты Канадской провинции Онтарио
[Ontario's, ... 2016]

Программа по реабилитации гавани длилась более 20 лет. За это время дважды были предприняты меры по выемке донных отложений, содержащих тяжелые металлы и полиароматические углеводороды, модернизированы системы водоотведения промышленных предприятий, выполнены работы по предотвращению воздействия неточечных источников и восстановлению местообитаний в пределах местного речного водосбора и заболоченного массива на общую сумму около 410 тыс. канадских долларов, выделенных из Канадского государственного экологического фонда. Тесное взаимодействие было налажено с местной общественностью, землевладельцами, представителями промышленности и муниципалитетов при партнерской поддержке ряда министерств и ведомств провинции Онтарио и округа Эссекс, включая министерство сельского хозяйства и пищевой промышленности, министерство экологии и изменения климата, министерство природных ресурсов и лесного хозяйства и др.

Несмотря на определенные успехи локального характера как с канадской, так и с американской стороны, эвтрофирование Великих озер, в особенности оз. Эри, продолжает оставаться серьезной проблемой. Так, например, сильнейшая вспышка развития микроводорослей наблюдалась в 2011 г., накрыв акваторию площадью более 320 квадратных миль. В 2014 г. в г. Толедо (США) был введен трехдневный запрет на потребление водопроводной воды с высокими концентрациями токсина микроцистина, вызванными бурным цветением воды в озере. Пострадало около 400 тыс. человек, были закрыты публичные библиотеки, университеты и рестораны. Попадание в питьевую воду токсина произошло вопреки тому, что в 2013 г. местные власти потратили на закупку реагентов для очистки воды 4 млн долларов США – вдвое больше по сравнению с затратами в 2010 г. Чтобы полностью модернизировать систему водоподготовки города и обеспечить необходимый уровень очистки воды, в подобных случаях потребуется более 320 млн долларов США [Diffuse..., 2017]. Основной причиной цветения считается поступление стоков с сельскохозяйственных полей, богатых биогенными элементами.

Мероприятия были завершены в 2007 г., после чего последовал период трехлетнего мониторинга, который подтвердил возможность признать успешность программы и удалить гавань Уитли из списка участков экологического риска.

Торонто (оз. Онтарио).

Сельскохозяйственная деятельность на водосборах шести рек рассматриваемого района, а также загрязненный поверхностный городской сток вместе с изливами из общесплавной канализации – типичные источники диффузного загрязнения, из-за которых залив Торонто (цифра 3 на рис. 1.44), его акватория и водосбор были отнесены к участкам экологиче-

ского риска. Специальные обследования выпусков дождевой канализации показало также, что примерно в трети из них наблюдается загрязненный сток, в сухие сезоны года его объем – до 4 тыс. м³ в сутки. Среди индикаторов нарушенности экологического состояния залива и устойчивого водопользования были выделены: ограничения на потребление выловленной рыбы из-за высокого содержания пестицидов и ПХБ в их тканях, деградация бентосных организмов, утеря местообитаний, естественных ландшафтов и их общей эстетики, интенсивное цветение воды, закрытие городских пляжей, загрязнение донных отложений и проч. Реализацию планов восстановления осуществляют совместно Министерства окружающей среды Канады и провинции Онтарио, которые сотрудничают с местными экологическими фондами и ведомствами на основе подписанных меморандумов о взаимопонимании, а также в рамках специально созданного Координационного комитета. Этот комитет отслеживает прогресс реализации планов, формирует ежегодные отчеты, организует общественность, проводит регулярные съезды, на которых собираются представители заинтересованных сторон: местные экологические службы, хозяйствующие субъекты, водопользователи, общественные экологические организации. Природоохранные мероприятия были начаты в 1994 г. и направлены на улучшение состояния элементов природной среды и устранение причин их ухудшения. Прогресс в достижении целей отслеживается по состоянию перечисленных выше индикаторов. Например, существенное снижение бактериального загрязнения и мутности в результате строительства перехватывающих дождевой сток туннелей для последующей его очистки способствовало снижению частоты закрытия пляжей и запретов на купание в прибрежных городских водах. Большинство пляжей г. Торонто уже имеют «Голубой флаг» – символ чистоты вод, их высокого качества для рекреационного водопользования. Оставшиеся пляжи, которые пока не соответствуют этому критерию, расположены в устьевых областях рек, испытывающих влияние хозяйственной деятельности на их водосборах. В период 2003–2020 гг. администрация г. Торонто инвестировала около полумиллиарда канадских долларов в реализацию Плана по управлению городским стоком в многоводные периоды года, для того чтобы улучшить качество воды городских водотоков и прибрежной акватории оз. Онтарио. Большое значение придается восстановлению устьевых и пойменных участков рек, водно-болотных угодий, перехватывающих и утилизирующих загрязнения за счет природной буферной емкости.

Эти и другие примеры целенаправленных усилий по улучшению состояния окружающей среды говорят о том, что восстановление водных объектов является хотя и непростой, но реально выполнимой задачей. С 1985 по 2019 г. полностью восстановлены 7 из 43 участков экологического риска, два участка находятся в стадии восстановления, общая сумма природоохранных затрат для всех участков за этот период составила 22,78

млрд долларов США (0,4% внутреннего валового продукта в регионе Великих озер в 2015 г.). Из них более 5,5 млрд затрачено на предотвращение попадания загрязнений из донных отложений, очистку мест складирования опасных отходов, снижение загрязнения грунтовых вод, около 300 млн долларов – на снижение поступления загрязнения от диффузных сельскохозяйственных источников. Основная часть суммы была израсходована на улучшение очистки сточных вод и снижение рисков переполнения и изливов общесплавной системы канализации урбанизированных территорий. Подробный ретроспективный анализ предпринятых мер по восстановлению проблемных зон Великих озер и результатов приведен в статье [Hartig, Krantzberg, Alsip, 2020].

Вовлечение в процесс реабилитации водных объектов различных действующих сторон, создание условий для их заинтересованности и совместный поиск экономически эффективных, экологически обусловленных и научно обоснованных решений – одна из характерных черт водоохранной политики Канады и других развитых стран. Это непростой путь и, видимо, поэтому часто – довольно длительный. Другой причиной является многокомпонентность и продолжительность антропогенного воздействия, включая точечные и диффузные источники, а также сложность и инерционность нарушенных природных связей и процессов, восстановление которых требует продолжительного времени, больших финансовых затрат и тщательного и достоверного мониторинга. Немаловажным аспектом является также сложность координации действий многочисленных землепользователей и водопользователей в пределах водосборной территории, без которой эффективная борьба с диффузным загрязнением практически неосуществима.

Опыт других развитых стран, расположенных за пределами Европы и Северной Америки, хотя и имеет некоторые местные особенности, но в целом характеризуется многими общими проблемами.

В водных объектах Австралии, во многом в результате влияния сельского хозяйства, наблюдается избыток биогенных элементов, взвешенных веществ и патогенных микроорганизмов – наиболее часто встречающихся загрязнений по всей стране. Изменение климата, ведущее к усилению засух и более частым пожарам, стало причиной усилившейся эрозии почвы, деградации прибрежной растительности, повышения температуры воды и усугубляет негативное воздействие, способствуя более интенсивному цветению и бактериальному загрязнению рек и водохранилищ. Диффузное загрязнение приносит значительные финансовые убытки. Например ассоциация производителей устриц в австралийском штате Новый Южный Уэльс оценивает ежегодные потери индустрии в 6,6 млн австралийских долларов. В 2009 г. штатом была разработана Стратегия по снижению негативного воздействия источников диффузного загрязнения на качество воды [NSW Diffuse, 2009]. В ней изложен подход к скоординированным действиям и предоставлению отчетности в целях более эф-

фективного управления источниками диффузного загрязнения и повышения качества поверхностных и грунтовых вод. Важно отметить, что в этом документе достаточно четко прописана связь с другими государственными природо- и водоохранными программами, рассмотрены возможные препятствия при регулировании диффузного загрязнения и пути их преодоления, а также прописана ответственность различных экологических агентств, органов власти и других заинтересованных организаций. Реализация стратегии предусматривается посредством разработки и внедрения Плана приоритетных действий.

В Новой Зеландии при общем относительном благополучии водных объектов в ряде регионов наблюдается устойчивый рост азотсодержащих веществ и фосфора – результат воздействия как урбанизированных территорий, так и сельскохозяйственных объектов, особенно молочно-товарных ферм. Продукты животноводства – взвешенные вещества и патогенные микроорганизмы наряду с биогенными элементами – наиболее часто встречающиеся загрязнения новозеландских рек [Howard-Williams et al, 2010]. Правительство предпринимает меры по регулированию диффузных источников, в т.ч. на основе результатов математического моделирования. Расчеты, выполненные на основе модели SPARROW (SPATIally Referenced Regression On Watershed attributes), показали, что доля точечных источников в поступлении в море с территории государства общего азота и фосфора составляет всего 3,2 и 1,8 % соответственно. Описание модели можно найти на сайте Геологической службы США [Everything..., 2020].

Характерным примером является также ситуация с озером Роторуа (о. Северный). Когда в 1991 г. было существенно снижено отведение загрязненных сточных вод в его акваторию, содержание общего азота в озере практически не изменилось, а затем стало расти одновременно с ростом концентраций общего азота в воде питающих озеро рек, водосборы которых стали интенсивно использоваться для пастбищного животноводства. Исследования новозеландцев показывают, что поступление биогенов происходит не просто со всего водосбора или какой-то фермы, а в основном с характерных участков или критических районов, выявление и мониторинг которых является первоочередным шагом в деле борьбы с диффузным загрязнением. Одним из признанных подходов к регулированию загрязненного стока является использование буферной емкости природных сред и культивирование природоприближенных способов снижения поступления загрязненного стока: полосы травостоя вдоль берегов, заболоченные участки речных пойм, а также контурная вспашка – признак устойчивого землепользования, предотвращающего эрозию с/х угодий. Кроме того, ограничивается доступ животных к берегам рек, ручьев и болот, используются специальные удобрения замедленного действия, сводящие к минимуму вынос питательных веществ непосредственно с дождевым стоком. В отдельных регионах, например, в области Мануату-Вангануи на о. Северный, для каждого фермер-

ского хозяйства устанавливаются лимиты на потери питательных веществ на основе данных об их естественном содержании в почвах и способности последних к удержанию влаги. Распределение лимитов между фермерами создает предпосылки для экономического механизма регулирования диффузного загрязнения путем покупки и продажи соответствующих квот в пределах водосбора.

В Южной Корее пристальное внимание проблеме диффузного загрязнения стали уделять начиная с 2011 г., после того как было показано, что около 70% случаев загрязнения водных объектов напрямую связаны с воздействием городских и сельских неточечных источников. В фокусе регулирования находятся биогенные элементы и биохимическое потребление кислорода, по которым по аналогии с опытом США устанавливаются величины общей максимально допустимой нагрузки для каждого из 4 основных речных бассейнов этой страны, испытывающих последствия эвтрофирования и цветения водных объектов.

Как показывают приведенные примеры, диффузному загрязнению все больше уделяется внимание по всему миру, начинают появляться общие контуры водоохранной политики, ключевые принципы и подходы, позволяющие отслеживать и управлять потоками ЗВ, преодолевать объективные трудности, предотвращать деградацию водных объектов и восстанавливать их. Более подробно с этой темой можно ознакомиться в отчете, подготовленном Организацией экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) [Diffuse..., 2017]. Среди представленных в отчете принципов выделяются следующие.

1. *Предотвращение формирования загрязнения* – экономически более выгодно, чем очистка и восстановление водных объектов.

2. *Очистка в источнике*. Принцип подразумевает, что мониторинг диффузного загрязнения и контроль за его снижением должны производиться как можно ближе к месту его возникновения. Очистка на ранних стадиях формирования загрязнений, как правило, менее затратна и более эффективна, чем после их распространения и накопления в воде, почвах, растениях, донных отложениях.

3. *Загрязнитель платит*. Принцип устанавливает затратность загрязнения и создает стимулы для его снижения. В отношении диффузного загрязнения этот принцип реализовать достаточно непросто, поскольку зачастую бывает трудно определить конкретного загрязнителя. Для того чтобы преодолеть это препятствие, используются различные подходы. В одних случаях устанавливают специальные таксы на использование удобрений и пестицидов, процент водонепроницаемых поверхностей в городах или количество животных на сельскохозяйственных фермах (плата за привнос загрязнений на водосбор). Там, где это возможно, вме-

сто непосредственных измерений применяют математическое моделирование для оценки объемов выноса ЗВ диффузной природы с водосбора и их поступление в водные объекты. Также учитывается коллективная ответственность водо- и землепользователей в пределах речного водосбора путем предоставления квот на загрязнение, которые могут передаваться на платной основе.

4. *Выгодоприобретатель платит.* Этот принцип позволяет разделить финансовую ответственность с теми, кто получает выгоду от улучшения качества воды (устанавливается лишь в качестве дополнительной стимулирующей меры по достижении определенного уровня состояния окружающей среды и водных объектов). Например, экономические стимулы и субсидии, предоставляемые государством хозяйствующим субъектам, ложатся на плечи налогоплательщиков. Затраты на экологически чистое производство и соответствующую маркировку продукции бывают, как правило, более высокими, поэтому дополнительные затраты компенсируются за счет покупателей. Водоснабжающие компании, использующие воду из поверхностных источников, восполняют затраты на водоподготовку за счет потребителей или могут инициировать взаимодействие с землепользователями в пределах водосборной территории в целях снижения рисков загрязнения водоисточника сходной воды, поступающей на станции водоподготовки.

При реализации принципов делается акцент на согласованности политики по предотвращению диффузного загрязнения в различных секторах экономики, равенстве водо- и землепользователей перед законом в отношении выбросов ЗВ, а также равенстве прав нынешних и будущих поколений, открытости информации и данных, необходимости вовлечения общественности и различных заинтересованных сторон. Последнее, в частности, помогает преодолеть одностороннее «лоббирование» чуждых экологическим проблемам политических кругов и представителей бизнеса.

Поскольку сокращение диффузного загрязнения является затратным процессом важно правильное понимание его рисков, основанное на научных знаниях и исследованиях, аккуратных оценках и взаимодействии.

Риск-ориентированный подход предполагает:

- выявление ЗВ, путей их поступления, источников, времени проявления и воздействия на окружающую среду;
- оценку рисков диффузного загрязнения (экологических, экономических и социальных), принимая во внимание временные интервалы, накопленный ущерб и планирование использования земель.

Сложность прямого контроля за диффузными источниками обуславливает необходимость ориентироваться на выбор трех вариантов или ключевых инструментов по управлению рисками:

- внедрение экологически ориентированных способов землепользования и производственных процессов;
- коллективная ответственность и поощрение для водо- и землепользователей;
- использование математических моделей для более точной оценки объемов и управления поступлением диффузного загрязнения, выявления его источников.

При этом учитываются местные особенности и различия в экологическом состоянии водных объектов, затраты и получаемый от них эффект.

Высоко оценивается роль правительства, которое формирует законодательные инициативы и отслеживает их выполнение, определяет долгосрочные цели и анализирует результаты, координирует действия, создает условия для открытой информационной экологической среды и свободного доступа к данным, предлагает финансовые инструменты поощрения и пр.

В целом становится все более очевидным, что снижение диффузного загрязнения должно базироваться на сочетании законодательного регулирования с повсеместным стимулированием природоохранных инициатив на добровольной основе, что предполагает, в частности, изменение моделей поведения, производства и бизнеса как на уровне отдельных индивидов, так и в государственном и надгосударственном масштабе.

ГЛАВА 2

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В БАССЕЙНЕ ВОЛГИ: ВКЛАД ДИФFUЗНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Площадь бассейна р. Волги составляет, по разным оценкам, от 1360 до 1431 тыс. км², что равняется почти трети европейской части нашей страны. Из-за выгодного экономико-географического положения, полноводности и большой протяженности Волга всегда была главной рекой России. В ее бассейн входят полностью или частично территории 38 субъектов Российской Федерации, в том числе 8 республик, 29 областей и г. Москва.

Хотя Волжский бассейн занимает только 8% территории РФ – это важнейший в экономическом отношении регион России. Расчеты, выполненные нами на основе обработки статистических материалов Росстата [Сайт Федеральной службы государственной...], показывают, что здесь располагается 32% посевов сельскохозяйственных культур, 43% основных фондов экономики, производится почти половина ВВП России, что определяет высокую степень антропогенной нагрузки на водные объекты (*табл. 2.1*). На начало 2020 г. на территории бассейна проживало 60,8 млн человек (41,5% населения РФ), из них 49,1 млн в городах. На долю Волги и ее притоков приходится более 70% грузооборота речного транспорта России.

2.1 МАСШТАБ И МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ БАССЕЙНА ВОЛГИ

2.1.1 Водохозяйственная система, водопотребление и водоотведение в бассейне Волги в постсоветский период (1990–2018 гг.)

Один из основных постулатов концепции устойчивого развития – гармоничное сочетание социально-экономических и экологических приоритетов развития общества. Эффективной может быть признана экономика, обеспечивающая удовлетворение жизненных потребностей при одновременном уменьшении расходов сырья и энергии, сокращении производства отходов.

Для экологической реабилитации Волжского бассейна необходимо осуществление комплекса мер по охране и воспроизводству водных ресурсов на водосборных площадях, рационализация систем водопользования на основе осуществления политики водосбережения, сокращение забора свежей воды. Снижение водопотребления является необходимым условием сокращения объемов отводимых сточных вод и, следовательно, содержащихся в них ЗВ.

Таблица 2.1

Основные показатели социально-экономического развития в бассейне Волги

Регион	Число субъектов РФ*	Площадь территории в пределах бассейна, тыс. км ²	Численность населения на 01.01.2020, тыс. чел			Основные фонды отраслей экономики на конец 2018 г., млрд руб.	Валовой региональный продукт в 2017 г., млрд руб.	Площадь посевов с/х культур в 2019 г., тыс. га
			Всего	городское	сельское			
Верхняя Волга	27/10	648,0	38282,9	32066,7	6216,2	65694,3	25404,3	10487,8
Кама	14/1	504,3	11727,1	8431,5	3295,6	12290,7	4700,1	6573,9
Нижняя Волга	9/2	278,3	10833,5	8606,8	2226,7	11696,0	4220,3	8387,8
Всего по бассейну Волги	38/17	1430,7	60843,5	49107,0	11738,5	89680,9	34324,8	25449,5
Всего по РФ	85	17125,2	146748,6	109562,5	37186,1	210940,5	74926,8	79880,5
Бассейн Волги. % РФ	44,7	8,4	41,5	44,8	31,6	42,5	45,8	31,9
Части бассейна, % всего бассейна								
Верхняя Волга		45,3	62,9	65,3	53,0	73,3	74,0	41,2
Кама		35,2	19,3	17,2	28,1	13,7	13,7	25,8
Нижняя Волга		19,5	17,8	17,5	18,9	13	12,3	33,0

* Числитель – общее количество субъектов федерации, знаменатель – количество субъектов, полностью входящих в часть бассейна Волги

Бассейн Волги имеет огромную протяженность, включает несколько природно-климатических зон от таежной до полупустынной и много регионов, характеризующихся своей специализацией производства исходя из общероссийского разделения труда и спецификой использования водных ресурсов. В целях более детального анализа эффективности водопользования разделил его, как это принято, на три части – Верхнюю Волгу, Каму и Нижнюю Волгу.

Водохозяйственная система Верхней Волги обеспечивает водоснабжение населения и хозяйства 27 субъектов федерации, а также водный транспорт, орошаемое земледелие, рыборазведение, гидроэнергетику и специальные экологические попуски. Площадь бассейна составляет 648 тыс. км², а численность населения превышает 38 млн человек. Этот регион характеризуется высокой концентрацией промышленного производства, торговли и отраслей, оказывающих нерыночные услуги. Здесь производится 74% валовой региональной продукции бассейна Волги. В пределах этой территории формируется более половины водных ресурсов всего бассейна и поэтому их состояние здесь, безусловно, отражается на состоянии водных ресурсов Нижней Волги и Северного Каспия.

Сток р. Камы – левого притока Волги регулируется Камским, Воткинским и Нижнекамским водохранилищами. ВХС Камы обеспечивает водоснабжение населения и хозяйства Пермского края, Кировской области, республик Удмуртия, Башкортостан, Чувашия, Татарстан, и частично Вологодской, Костромской, Нижегородской, Оренбургской, Свердловской, Челябинской областей, республик Марий Эл и Коми, а также водный транспорт, рыборазведение, орошаемое земледелие, гидроэнергетику и специальные экологические попуски. Площадь бассейна составляет 504 тыс. км², а численность населения 11,7 млн человек. Этот регион наряду с высокой концентрацией промышленности (прежде всего топливной, машиностроительной, химической и нефтехимической, энергетикой) характеризуется развитым сельским хозяйством.

Бассейн Нижней Волги охватывает территорию девяти субъектов РФ (республики Калмыкии, Татарстан, Астраханской, Волгоградской, Оренбургской, Самарской, Саратовской, Ульяновской и очень малую часть Пензенской областей) и занимает площадь 278 тыс. км² с численностью населения 10,8 млн. человек. Сток Нижней Волги регулируется Саратовским и Волгоградским водохранилищами. Здесь расположено более 800 тыс. га орошаемых угодий, на которых выращиваются теплолюбивые сельскохозяйственные культуры, широко развито искусственное воспроизводство ценных пород рыб наряду с наличием естественных нерестилищ. Промышленность представлена в основном машиностроительной и топливной отраслями.

В 1990 г. забор пресной воды из водных объектов бассейна Волги составлял 37,0 км³, к 2018 г. в результате трансформации социально-экономических условий в России этот показатель снизился до 16,3 км³, или в 2,3 раза

[Водные ..., 2010; Водные ..., 2019]. Удельный вес бассейна Волги в общем водопотреблении России снизился с 31,9% в 1990 г. до 24% в 2018 г., что говорит об ускоренном снижении антропогенной нагрузки в этом бассейне по сравнению с другими регионами России.

Анализ водопотребления и водоотведения в регионах бассейна Волги целесообразно проводить в разрезе крупных отраслей – промышленности, сельского и жилищно-коммунального хозяйства, каждый из которых имеет свою специфику водопользования. Снижение объемов забора свежей воды и сбросов сточных вод произошло во всех отраслях, но в разной степени. Среди отраслей экономики бассейна наиболее водозатратна промышленность. В 2018 г. на ее долю приходилось 55% общего водопотребления, хотя еще в середине 1990-х гг. (период резкого спада промышленного производства) этот показатель не превышал 49% [Демин, Исмаилов, 2003].

В 1980-е гг. потребление воды промышленностью находилось на уровне 17–18 км³, несмотря на бурный рост производства во всех ее отраслях. Такая стабилизация была связана с активным введением мощностей оборотного и повторно-последовательного водоснабжения – за 10 лет объем используемой оборотной воды увеличился на 50%. Наибольшие темпы роста мощностей оборотного водоснабжения отмечались на Верхней Волге (61%), наименьшие – на Каме (35%).

С 1990 по 2018 гг. использование свежей воды в бассейне Волги на производственные нужды сократилось с 17,8 до 7,7 км³, оборотной и повторно-последовательной – с 69,2 до 45,0 км³, а суммарное водоснабжение в промышленности – с 87,0 до 52,7 км³ [Водные ..., 2010; Водные ..., 2019]. Коэффициент водооборота (отношение объема оборотного и повторно-последовательного водопотребления к валовому водопотреблению на производственные нужды) в целом по бассейну Волги за этот период вырос с 79,5 до 85,4%. В настоящее время наиболее высокий коэффициент водооборота отмечается на Нижней Волге (93,7%), что объясняется значительным развитием здесь топливной, металлургической и химической отраслей, в которых в соответствии с технологией производства наиболее широко применяется оборотное водоснабжение. В бассейне Камы этот показатель составляет 85,6%, в бассейне Верхней Волги – 80,6%.

В результате особенностей климатических и почвенных условий орошаемое земледелие наиболее развито в засушливых регионах нижнего течения Волги. В современных условиях на долю Верхней Волги приходится ~30% площади орошаемых земель бассейна Волги, Камы ~10%, Нижней Волги ~60%. Что касается объемов воды, использованных для нужд орошения, то здесь картина еще более контрастна. В 2018 г. более 97% объема оросительной воды было использовано на Нижней Волге, 2% на Верхней Волге и менее 1% в бассейне Камы.

Орошаемое земледелие было одним из ведущих и наиболее динамично развивающихся водопотребителей в бассейне. С 1970 по 1990 г. площадь орошаемых земель возросла с 0,32 до 2,13 млн га, но после сокращения

в кризисные 1990-е гг. стабилизировалась на уровне 1,4–1,5 млн га и лишь в последние три года стала чуть-чуть расти. Резко выросла площадь ранее орошаемых земель, не используемых в сельскохозяйственном производстве в связи с высоким уровнем грунтовых вод и вторичным засолением почв. Из-за неисправности оросительных систем, отсутствия поливной техники, дороговизны услуг водохозяйственных организаций площадь фактически политых земель в бассейне Волги снизилась с 1530 тыс. га в 1990 г. до 717 тыс. га в 2000 г. и 565 тыс. га в 2018 г. В бассейне Камы за 28 лет площадь фактически политых земель снизилась в 5,5 раза, на Нижней Волге – в 2,3 раза, на Верхней Волге – в 1,9 раза. Существенно снизились объемы воды, используемой на орошение. Если в 1990 г. на нужды регулярного и лиманного орошения расходовалось 3,68 км³, то в 2018 г. было использовано 0,67 км³ воды, или в 5,5 раза меньше. Произошло это как из-за резкого сокращения поливных площадей, так и за счет снижения удельного водопотребления.

Площадь орошаемых земель России, которые не поливаются, возросла с 0,8–1 млн га в начале 1990-х гг. до 3 млн га в настоящее время. Если в 1990 г. доля не политых по различным причинам земель (из-за их реконструкции, ввода в эксплуатацию после начала вегетационного сезона, низкой водообеспеченности и т.д.) в общей площади орошаемых земель в среднем по бассейну Волги составляла 29%, то к 2018 г. она повысилась до 70%. Ежегодно из-за неисправности оросительной сети и поливной техники, резкого удорожания электроэнергии и услуг водохозяйственных организаций в большинстве регионов Камы 50–80% не поливаются орошаемых земель. Еще хуже ситуация в бассейне Верхней Волги. Здесь в большинстве регионов не поливается 70–90% земель, числящихся в составе орошаемых, а в некоторых регионах поливается лишь каждый двадцатый гектар территории с оросительной сетью. Несмотря на все трудности в большинстве регионов Нижней Волги ежегодно поливается 40–60% орошаемых земель, хотя еще в конце 1990-х гг. этот показатель, например, в Астраханской области доходил до 98%.

Жилищно-коммунальное хозяйство удовлетворяет потребность в воде населения, коммунальных, транспортных и прочих непромышленных предприятий. Ситуация с питьевым водоснабжением в бассейне Волги достаточно тревожная. Значительное число жителей использует недоброкачественную питьевую воду. До сих пор почти 10% горожан и около 45% сельчан пользуются водой из колодцев, родников, водоразборных колонок, а не водопровода.

Максимальное значение объема использования воды на хозяйственно-питьевые нужды в бассейне Волги было отмечено в 1991 г. – 6,94 км³. В последующие годы оно постоянно снижалось: 2000 г. – 6,44 км³, 2005 г. – 6,03 км³, 2010 г. – 4,6 км³, 2015 г. – 3,78 км³, 2018 г. – 3,43 км³. В среднем по бассейну с 2000 по 2018 г. среднесуточное водопотребление 1 жителя (городского и сельского) снизилось с 289 до 155 л, или на 46,5%. Впечатляющие успехи по снижению водопотребления достигнуты в Москве – с 438 до 145

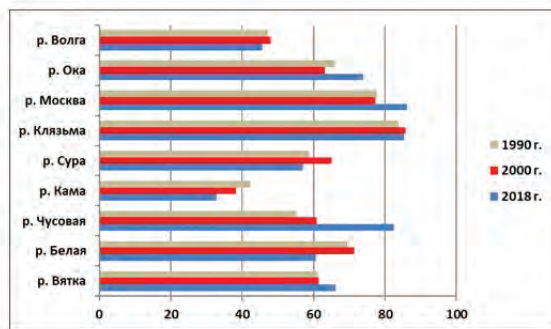


Рис. 2.1. Доля загрязненной воды в общем объеме сточной воды, %

л/сутки, или в 3 раза. Наряду с прочими, одной из основных причин этого является реализация программы по оснащению жилищного фонда приборами учета воды.

В результате сокращения водопотребления в жилищно-коммунальном, сельском хозяйстве и промышленности сброс сточных, шахтно-рудничных и коллекторно-дренажных вод в поверхностные водные объекты в целом по бассейну Волги сократился за 28 лет с 22,3 до 10,9 км³ (в 2 раза). На бассейн Верхней Волги приходится около $\frac{2}{3}$ всего объема водоотведения в бассейне Волги. Значительную часть отводимых после использования вод составляют загрязненные сточные воды. Их доля в общем объеме отводимых сточных вод в период экономического кризиса чуть выросла, но с 2000 г. сократилась с 48% до 45,7% в 2018 г.

В бассейне р. Оки за 1990–2018 гг. общий сброс сточных вод сократился в 2,3 раза, в бассейне р. Москвы – в 1,85 раза, в бассейне р. Клязьмы – в 3,1 раза, а в бассейне р. Суры – в 1,9 раза. Естественно, что сброс загрязненных сточных вод также заметно сократился. Однако на всех реках Верхней Волги наблюдается неблагоприятное соотношение загрязненных и нормативно-чистых вод. Так, в бассейне р. Оки удельный вес загрязненных сточных вод за 28 лет вырос с 66 до 74%, а на ее крупнейшем притоке р. Москве – с 78 до 86%. Очень сильно загрязнены сточные воды в бассейне р. Клязьмы, где доля загрязненных вод в общем сбросе после 2000 г. не опускается ниже 85%. Лишь в бассейне р. Суры доля загрязненных сточных вод сократилась с 65 в 2000 г. до 57% в 2018 г. (рис. 2.1).

За 1990–2018 гг. объем сброса сточных, шахтно-рудничных и коллекторно-дренажных вод в водные объекты бассейна Камы снизился с 5,11 до 2,57 км³ (в два раза). При этом доля загрязненных сточных вод заметно снизилась (с 42,5 до 32,9%). На всех главных притоках Камы наблюдается неблагоприятное соотношение загрязненных и нормативно-чистых вод. Так, в бассейне р. Чусовой удельный вес загрязненных сточных вод за 28 лет вырос с 55 до 82%, в бассейне р. Вятки – с 61 до 66%. За этот же период в бассейне р. Белой доля загрязненных сточных вод снизилась с 69,4% до 60,7%.

В бассейне Нижней Волги объем сброса сточных, шахтно-рудничных и коллекторно-дренажных вод в водные объекты также заметно сократился. Самое большое сокращение объема водоотведения наблюдалось в Оренбургской и особенно Астраханской областях. Вызвано это прежде всего резким сокращением объема коллекторно-дренажных вод, отводимых с орошаемых земель.

Основной объем загрязненных сточных вод в 2018 г. сбрасывался предприятиями по водоснабжению, водоотведению, сбору и утилизации отходов (59%), а также обрабатывающими производствами (16,3%), в первую очередь химическими, целлюлозно-бумажными и металлургическими.

К нормативно-чистым условно относят воды охлаждения с предприятий и коллекторно-дренажные воды с орошаемых и осушаемых земель. Фактически они наносят определенный экологический ущерб водным объектам. Воды охлаждения, имея повышенную температуру, содержат и некоторое количество ЗВ, а коллекторно-дренажные воды несут в себе пестициды, соединения азота и фосфора. В целом по бассейну Волги нормативно-чистые воды составляют около 50% объема суммарного водоотведения.

В настоящее время бóльшая часть загрязненных сточных вод сбрасывается в водоприемники без очистки или недостаточно очищенными. Наибольшие объемы загрязненных сточных вод на Верхней Волге сбрасывают города Москва, Нижний Новгород, Ярославль, Череповец, Иваново. В бассейне р. Камы наибольшие объемы загрязненных сточных вод приходится на долю городов Уфы, Перми, Набережных Челнов, Стерлитамака. В целом по бассейну Волги объем сбрасываемых загрязненных сточных вод с 1990 по 2018 гг. снизился с 11,1 до 5,0 км³, или более чем в 2,2 раза. Казалось бы, можно улучшить качество очистки при столь существенном сокращении сбрасываемых стоков. Однако объем нормативно очищенных сточных вод на сооружениях очистки за этот период также сократился – с 1072 до 589 млн м³, или в 1,87 раза. При этом в бассейне р. Оки он сократился в 6,0 раз, р. Москвы – в 3,4 раза, р. Суры – в 2,6 раза, р. Камы – в 1,3 раза, р. Чусовой – в 2,9 раза, р. Вятки – в 1,7 раза. Лишь в бассейне р. Клязьмы объем нормативно очищенных сточных вод вырос с 8 до 15,3 млн м³ за счет ввода в 2018 г. новых мощностей по очистке сточных вод.

В результате доля нормативно очищенной воды в общем объеме сточных вод, требующих очистки, за 28 лет в бассейне Волги выросла на очень незначительную величину – с 8,8 до 10,6%, т.е. до нормативов сейчас очищается только каждый десятый кубометр загрязненной воды. При этом в большинстве бассейнов крупных и средних рек доля нормативно очищенной воды в общем объеме сточных вод, требующих очистки, сократилась (рис. 2.2). Так, в бассейне р. Оки эта доля снизилась с 7,8 до 2,8%, р. Москвы – с 3,3 до 1,7%, р. Суры – с 3,4 до 2,8%, р. Чусовой – с 24 до 17%. Однако в бассейнах некоторых рек доля нормативно очищенной воды выросла – в бассейне р. Клязьмы с 1% до 5,3%, р. Вятки – с 10,5 до 14,1%. Наибольший прирост произошел в бассейне р. Камы – с 16,9 до 28,6%.

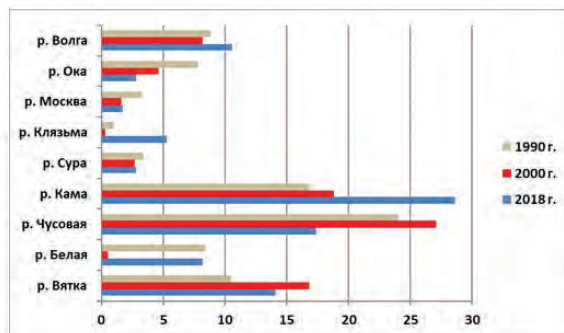


Рис. 2.2. Доля нормативно очищенной воды в общем объеме сточных вод, требующих очистки, %

Отраслевой анализ показывает, что из всех сточных вод, подлежащих очистке, нормативно очищается на обрабатывающих производствах 11,8%, на предприятиях электроэнергетики 10,1%, в сельском хозяйстве – лишь 1,5%. Это связано с рядом причин, по которым существующие очистные сооружения не способны обеспечить нормативную очистку. Самая высокая доля нормативно очищенных вод наблюдается на предприятиях транспорта и хранения, а также строительства – соответственно, 34,3% и 33,9%.

Важную роль в интенсификации процесса снижения поступления ЗВ в водные объекты со сточными водами должно было сыграть увеличение ввода в эксплуатацию мощностей очистных сооружений. За период 2001–2005 гг. в среднем за год мощность станций для очистки сточных вод в России увеличивалась на 600 тыс. м³ воды в сутки. За последующие 5 лет вводилось в среднем по 840 тыс. м³ мощностей в год. За период 2011–2015 гг. ввод мощностей по годам был очень неравномерен, но в среднем ежегодно вводилось станций для очистки сточных вод мощностью 1300 тыс. м³ воды в сутки, или в 2,2 раза больше, чем в начале века [Охрана ..., 2006; Охрана ..., 2010; Сайт Федеральной службы государственной ...]. В 2016–2018 гг. темпы ввода мощностей по очистке сточных вод вновь снизились – в среднем за год было введено 790 тыс. м³ мощностей.

Суммарная мощность очистных сооружений в бассейне р. Волги в 2018 г. достигла 15,26 км³ и превысила уровень 2000 г. на 13%. Из соотношения ее с объемом сточных вод, требующих очистки (5,58 км³), следует, что общая мощность перекрыла потребность в 2,7 раза. Объем сточных вод, прошедших очистку, относительно объема, требующего очистки, составил в 2018 г. 94,3%. Однако до нормы в этом году было очищено лишь 10,6% вод, нуждавшихся в очистке.

Низкая эффективность работы очистных сооружений связана с продолжающимся использованием морально устаревшего и физически изношенного технологического оборудования, традиционных схем очистки, а также с нарушениями режимов очистки сточных вод. Основные мощности очист-

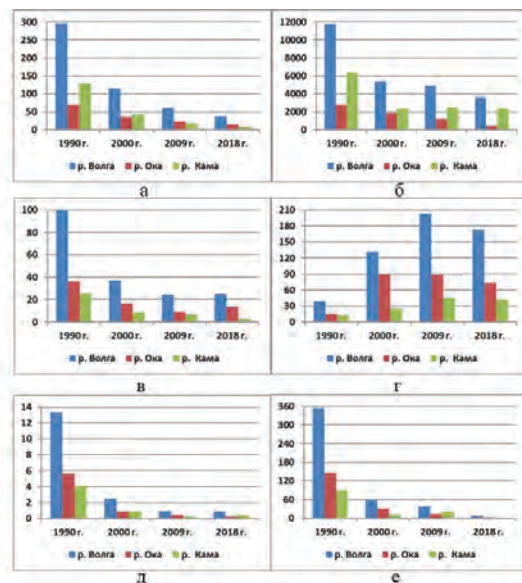


Рис. 2.3. Динамика сброса загрязняющих веществ в составе сточных вод в бассейнах рек Волги, Оки и Камы: а – БПК_{полн}, тыс. т; б – сухой остаток, тыс. т; в – азот аммонийный, тыс. т; г – нитраты, тыс. т; д – нефтепродукты, т; е – медь, т.

ных сооружений сосредоточены в ЖКХ. Необходимо отметить, что 60% сооружений этой отрасли перегружены, 40% эксплуатируются 30 и более лет и требуют срочной реконструкции. Кроме того, 2% городов, 16% поселков городского типа и 95% сельских населенных пунктов не имеют централизованных систем канализации. В 2018 г. 45% имеющейся канализационной сети нуждалось в замене.

2.1.2 Сброс загрязняющих веществ в составе сточных вод промышленных предприятий

В связи со снижением объемов отводимых сточных вод, изменением их качественного состава, ростом мощности очистных сооружений значительный интерес представляет анализ динамики сбросов ЗВ [Водные ..., 2010; Водные ..., 2019]. По большинству ЗВ отмечается существенное снижение их сброса в водные объекты в 2018 г. по сравнению с 1990 г. (рис. 2.3). Наибольший эффект достигнут в снижении сброса меди. Как в целом по бассейну Волги, так и в бассейнах ее крупнейших притоков Оки и Камы количество сброшенной меди в составе сточных вод снизилось за этот период в 41 раз. Количество нефтепродуктов в составе сточных вод сократилось за 28 лет в бассейне Волги в 15 раз, в том числе в бассейне Камы в 9 раз, а в бассейне Оки – в 24 раза. Сброс аммонийно-

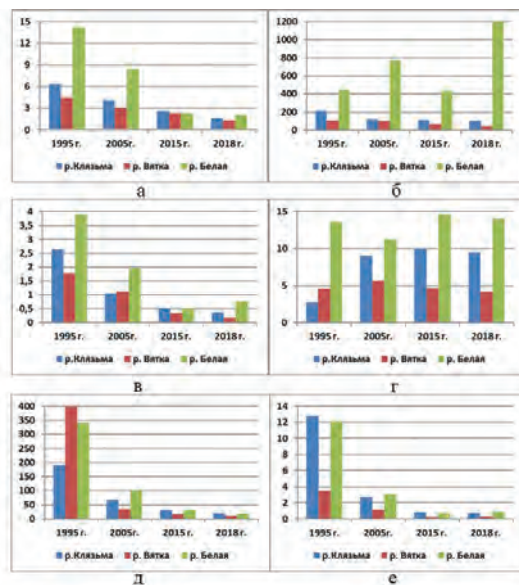


Рис. 2.4. Динамика сброса загрязняющих веществ в составе сточных вод в бассейнах рек Клязьмы, Вятки и Белой: а – БПК_{полн}, тыс. т; б – сухой остаток, тыс. т; в – азот аммонийный, тыс. т; г – нитраты, тыс. т; д – нефтепродукты, т; е – медь, т.

го азота в бассейне Волги снизился в 4 раза, причем в бассейне Оки сброс азота снизился в 2,6 раза, тогда как в бассейне Камы – в 9,7 раз. Биохимическое потребление кислорода (БПК), являющееся одним из важнейших критериев уровня загрязнения водоема органическими веществами (ОВ), сократилось в бассейне Волги за этот период в 8,2 раза; в бассейне Оки оно сократилось в 4,5 раза, а в бассейне Камы – в 16 раз. Масса сухого остатка, сбрасываемого со сточными водами, снизилась в бассейне Волги в 3,3 раза, причем в бассейне Оки в 6 раз, а в бассейне Камы – в 2,8 раза.

Единственный показатель, по которому отмечается рост, – нитраты. Количество сбрасываемых со сточными водами нитратов росло как в целом по бассейну Волги, так и по ее крупнейшим притокам до 2012–2013 гг., после чего стало постепенно сокращаться. Всего же за период 1990–2018 гг. сброс нитратов в бассейне Волги вырос в 4,5 раза, в том числе в бассейне Оки в 5 раз, а в бассейне Камы – в 3,3 раза. Таким образом, хотя объем отводимых сточных вод снизился в бассейне Волги в 2,1 раза, а сточных вод, прошедших очистку, – в 1,9 раза, количество основных сброшенных ЗВ сократилось в 3–15 раз. Это свидетельствует о том, что несмотря на все вышеперечисленные недостатки в работе очистных сооружений достигнут существенный эффект от проведения водоохранных мероприятий.

Аналогичные закономерности в снижении сброса ЗВ наблюдаются и в бассейнах менее крупных рек (рис. 2.4). В бассейне р. Клязьмы количество меди в составе сброшенных сточных вод сократилось за 1995–2018 гг.

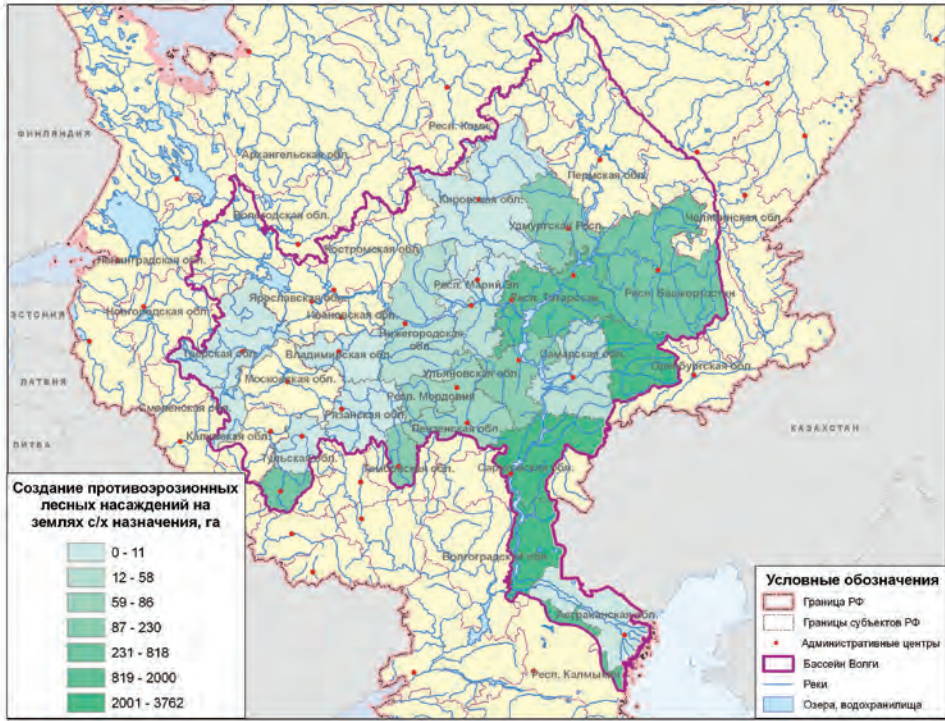
в 17 раз, нефтепродуктов – в 10 раз, аммонийного азота – в 7 раз, БПК снизилось в 4 раза. В бассейне р. Вятки уменьшение сброса по аналогичным позициям составило, соответственно, 13, 40, 10 и 3,5 раз, а в бассейне р. Белой – 14, 18, 5 и 7 раз. За тот же период сброс нитратов: в бассейне р. Клязьмы увеличился в 3,5 раза, в бассейнах рек Вятки и Белой остался на прежнем уровне. Снизилась также и рассредоточенная по водосборной территории антропогенная нагрузка. Достаточно отметить, что количество вносимых органических удобрений сельскохозяйственными организациями за период 1990–2018 гг. сократилось в целом по бассейну Волги со 173,0 до 25,6 млн т, а минеральных удобрений с 42,5 до 7,5 млн ц действующего вещества, или в 6,7 и 5,7 раз соответственно. Количество пестицидов, поставляемых сельскохозяйственным производителям, за указанный период снизилось в 3,5 раза.

2.1.3 Поступление загрязняющих веществ от диффузных источников

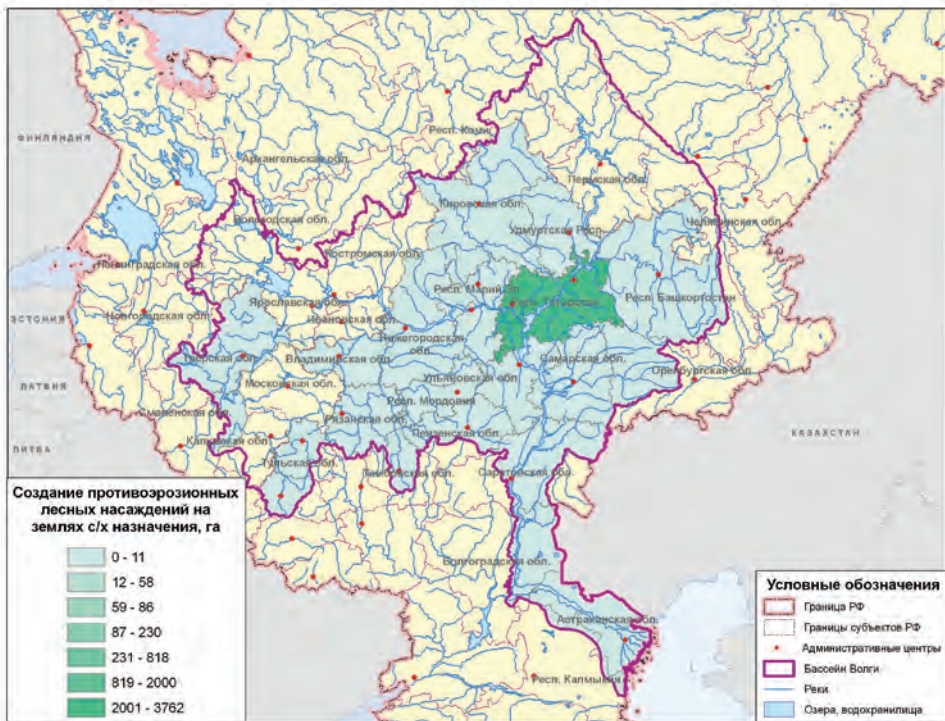
О динамике поступлении ЗВ от диффузных источников с достаточной степенью надежности позволяют судить природно-хозяйственные показатели состояния водосбора Волги, за которыми ведутся статистические наблюдения на федеральном и региональном уровнях. Выполнен анализ динамики водоохраных мероприятий и показателей, косвенным образом характеризующих загрязнение водных объектов от различных типов диффузных источников. В географической информационной системе (ГИС) «Риск диффузного загрязнения Волги» (разработана в рамках НИР, предусмотренной федеральным проектом «Оздоровление Волги») (см. раздел 4.1) представлены информационные слои, демонстрирующие пространственно-временные изменения:

- водоохраных мероприятий на землях сельскохозяйственного назначения (создание полевых защитных лесных полос, противоэрозионных лесных насаждений) (рис. 2.5 и 2.6);
- факторов формирования диффузного загрязнения от объектов животноводческого комплекса (поголовье крупного рогатого скота, свиней, овец и коз, поголовье птицы в сельскохозяйственных организациях) (рис. 2.7);
- факторов формирования диффузного загрязнения от сельскохозяйственных угодий (внесение сельскохозяйственными организациями минеральных и органических удобрений) (рис. 2.8);
- водоохраных мероприятий от разливов и протечек нефтепродуктов на акватории водных объектов (количество введенных в действие установок по сбору нефти, мазута, мусора и других жидких и твердых отходов

Рис. 2.5. Пространственно-временная динамика создания противоэрозионных лесных насаждений на землях сельскохозяйственного назначения в бассейне Волги, га (по ГИС «Риск диффузного загрязнения Волги»): а – 1995 г.; б – 2015 г.



а



б



а



б

- с акваторий рек, водоемов, портов и внутренних морей, включая судасборщики и нефtezачистные станции) (рис. 2.9);
- факторов формирования диффузного загрязнения от объектов размещения отходов (количество вывезенных твердых коммунальных отходов на объекты, используемые для захоронения отходов; количество введенных в действие предприятий и полигонов по утилизации, обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных, бытовых и других отходов; количество введенных в действие установок (производств) для утилизации и переработки отходов производства (и включая мусороперерабатывающие, мусоросжигательные заводы, предприятия и полигоны по утилизации, обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных, бытовых и др. отходов);
 - факторов формирования диффузного загрязнения от выбросов промышленных предприятий (количество выбросов в атмосферу твердых, жидких и газообразных ЗВ от стационарных источников) (рис. 2.10) и др.

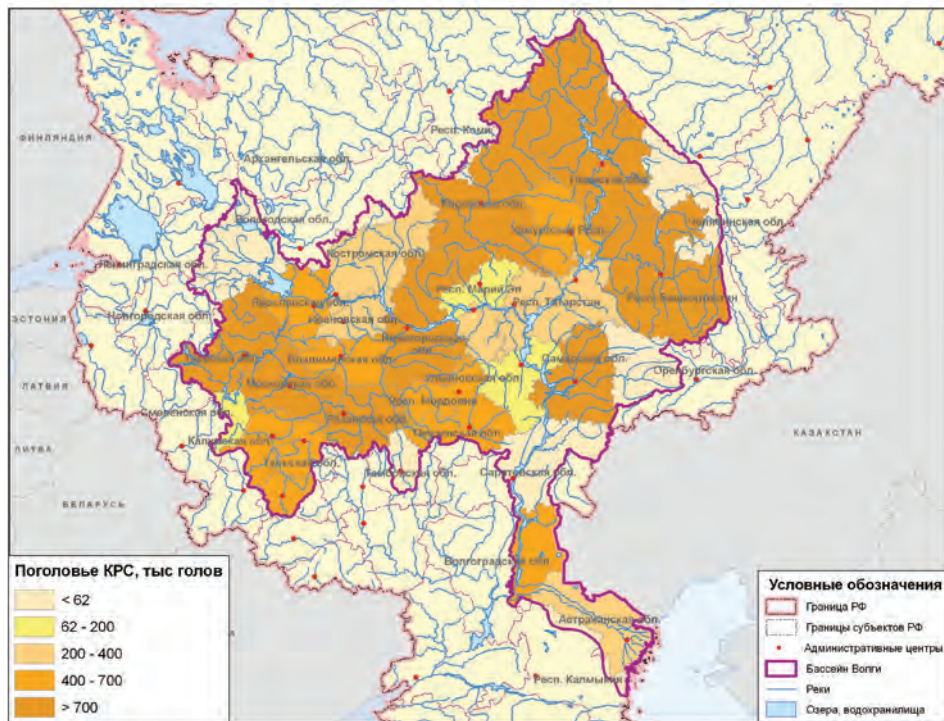
Анализ данных государственной статистической отчетности свидетельствует о снижении объема выполненных водоохранных мероприятий и количественных характеристик факторов формирования диффузного загрязнения.

Создание противоэрозионных лесных насаждений на землях сельскохозяйственного назначения в России за период с 1995 по 2016 гг. снизилось более чем в 7 раз, а за период с 1986 по 2016 гг. – более чем в 14 раз. В подавляющем большинстве регионов РФ, расположенных в бассейне Волги, к настоящему времени полностью прекратили высаживать противоэрозионные насаждения. Лишь в Республике Татарстан не только не сокращают, а увеличивают объемы работ по этому природоохранному направлению.

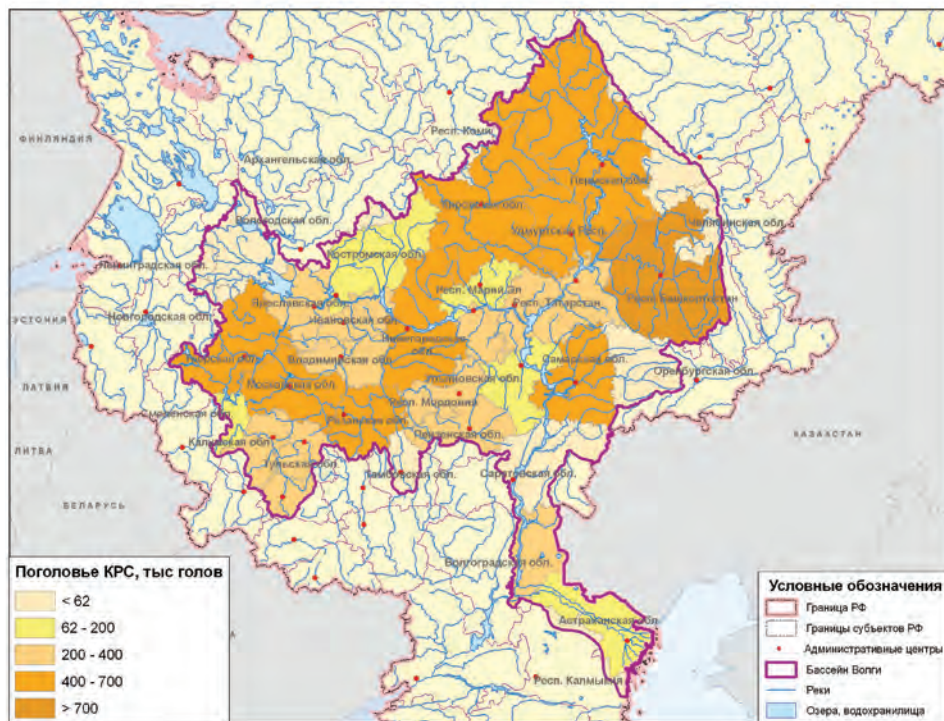
Объем работ по созданию полевых защитных лесных полос сократился в целом по России с 1995 г. в 328 раз, по сравнению с 1986 г. – более чем в 1000 раз. Из регионов, расположенных на территории бассейна Волги, в последние 7–8 лет лесополосы в крайне небольших масштабах создаются, кроме Татарстана, лишь в Башкортостане. Объемы работ по созданию полевых защитных лесных полос на землях сельскохозяйственного назначения в бассейне Волги сократились с 1621 га в 1995 г. до 18 га в 2016 г., или в 90 раз.

В 1990-х и начале 2000-х гг. создание пастбищезащитных, фитомелиоративных насаждений широко практиковалось в прикаспийских регионах, особенно в Республике Калмыкии и Астраханской области. В 1995 г. в целом по России пастбищезащитные насаждения были созданы на площади почти 20 тыс. га, причем на два вышеуказанных региона приходилось более 80% всего объема посадок. Однако в дальнейшем это эффективное мероприятие стало применяться все меньше – в 1999 г. было высажено 7,7 тыс. га таких насаждений, в 2003 г. – 3,6 тыс. га, в 2007 г. – всего 250 га.

← **Рис. 2.6.** Пространственно-временная динамика создания полевых защитных лесных насаждений на землях сельскохозяйственного назначения в бассейне Волги, га (по ГИС «Риск диффузного загрязнения Волги»): а – 1995 г.; б – 2015 г.



Масштаб: 1:10 500 000



Масштаб: 1:10 500 000

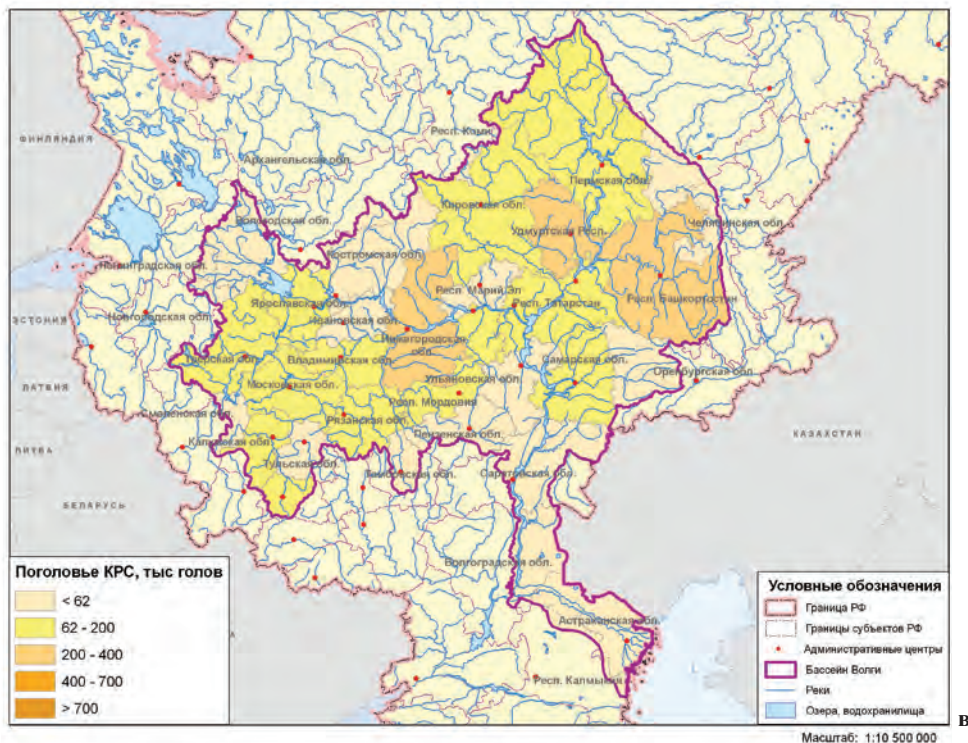
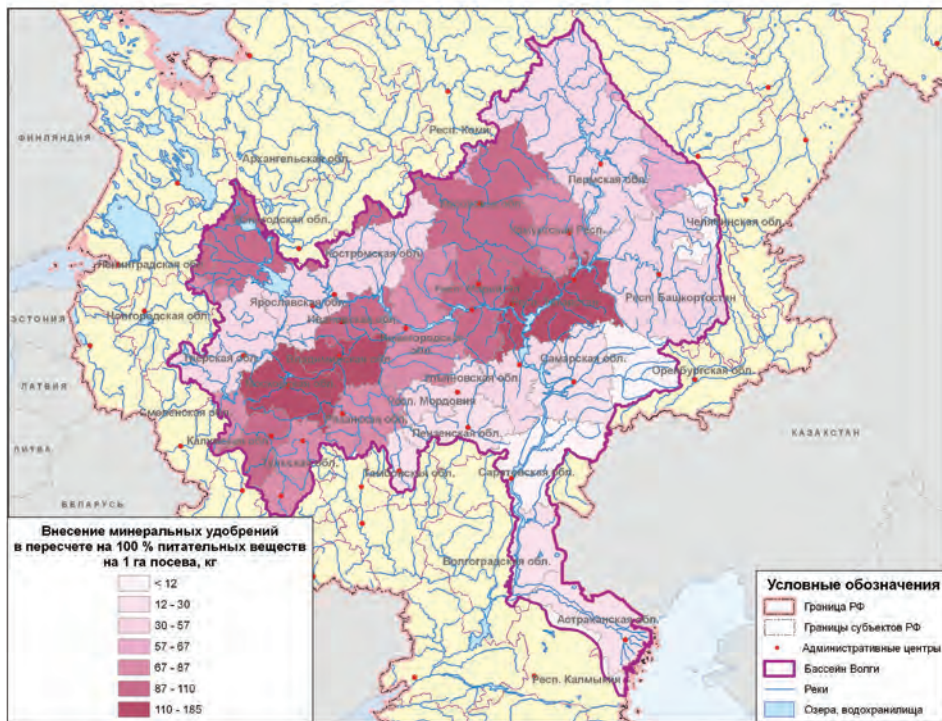


Рис. 2.7. Пространственно-временная динамика поголовья крупного рогатого скота, тыс. голов (по ГИС «Риск диффузного загрязнения Волги»): а – 1990 г.; б – 1995 г.; в - 2015 г.

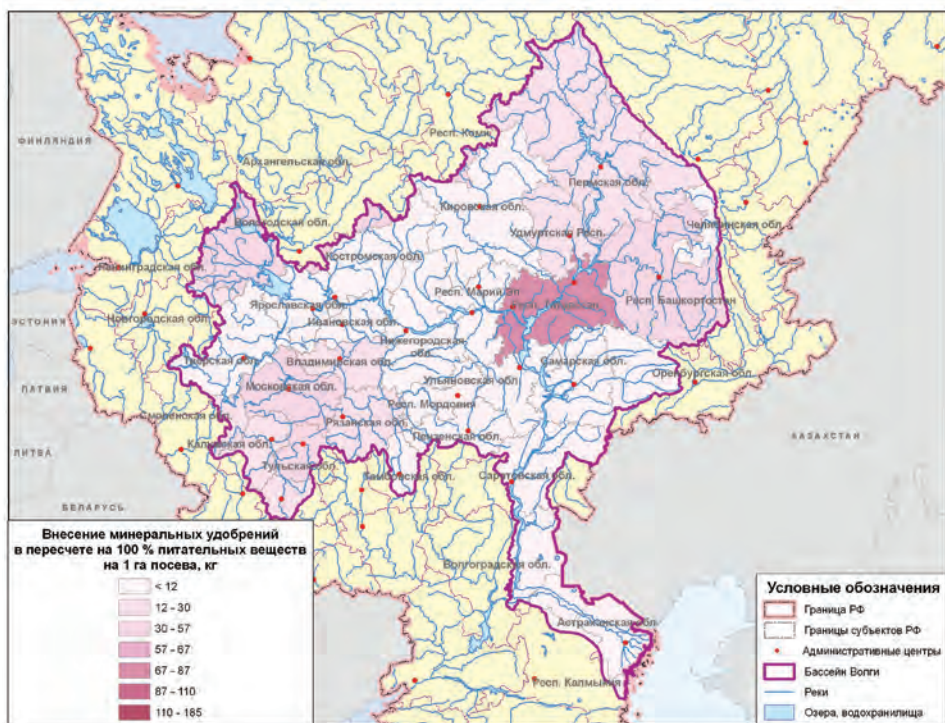
За период с 2010 по 2016 гг. в 4,5 раза снизился ввод в эксплуатацию водонаправляющих гидротехнических сооружений, регулирующих поверхностный сток с сельскохозяйственных угодий. Стремительно сокращается объем работ по выполаживанию склонов и засыпке оврагов. Если в 2010 г. в РФ данное мероприятие было применено на площади 167 га, то в 2013 – на 68 га, а в 2016 г. – всего на 3 га.

Во всех регионах происходит сокращение поголовья всех сельскохозяйственных животных. Только в сельскохозяйственных организациях бассейна Верхней Волги за период с 1990 по 2000 гг. численность крупного рогатого скота снизилась с 9,5 до 3,7 млн голов, или в 2,6 раза. После 2010 г., когда государство стало оказывать значительную финансовую поддержку сельскому хозяйству, в том числе в связи с ориентацией на самообеспечение страны продовольствием, во многих регионах снижение поголовья крупного рогатого скота и свиней прекратилось, а в отдельных регионах (Брянская, Калужская, Орловская, Тамбовская области) стало незначительно увеличиваться.

В последние годы в России сокращается и число крупных и средних сельскохозяйственных организаций: за 10 лет такое сокращение составило 4,6 раза (с 27787 до 6039 ед.). При этом обеспеченность животноводческих



а



б

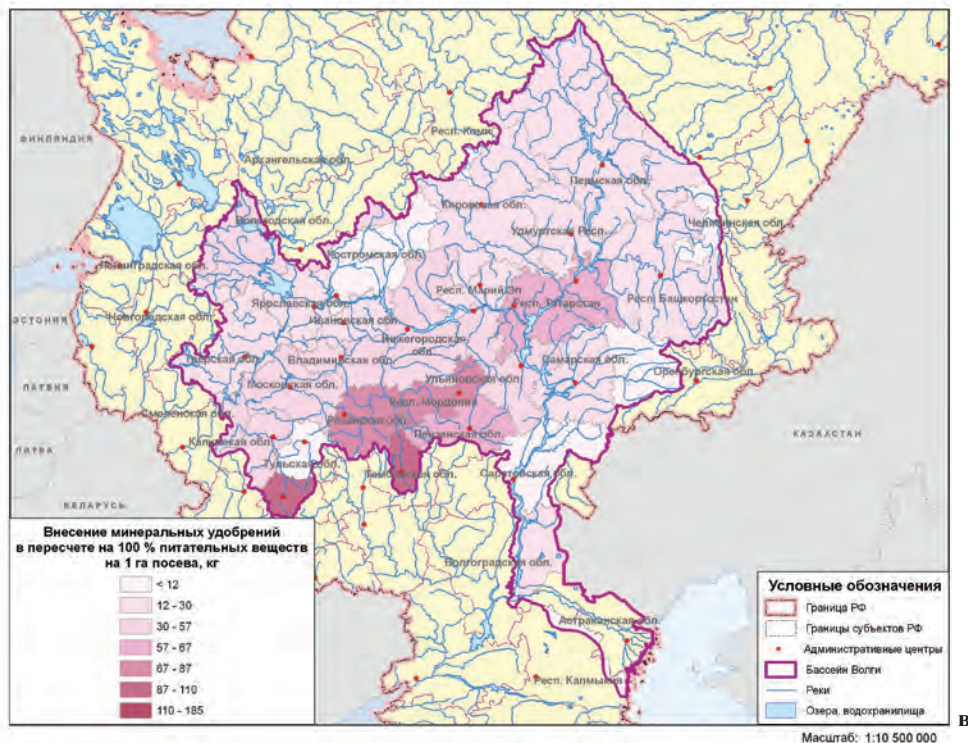


Рис. 2.8. Пространственно-временная динамика внесения сельскохозяйственными организациями минеральных удобрений в бассейне Волги, кг/га посева (по ГИС «Риск диффузного загрязнения Волги»): а – 1993 г.; б – 1995 г.; в - 2017 г.

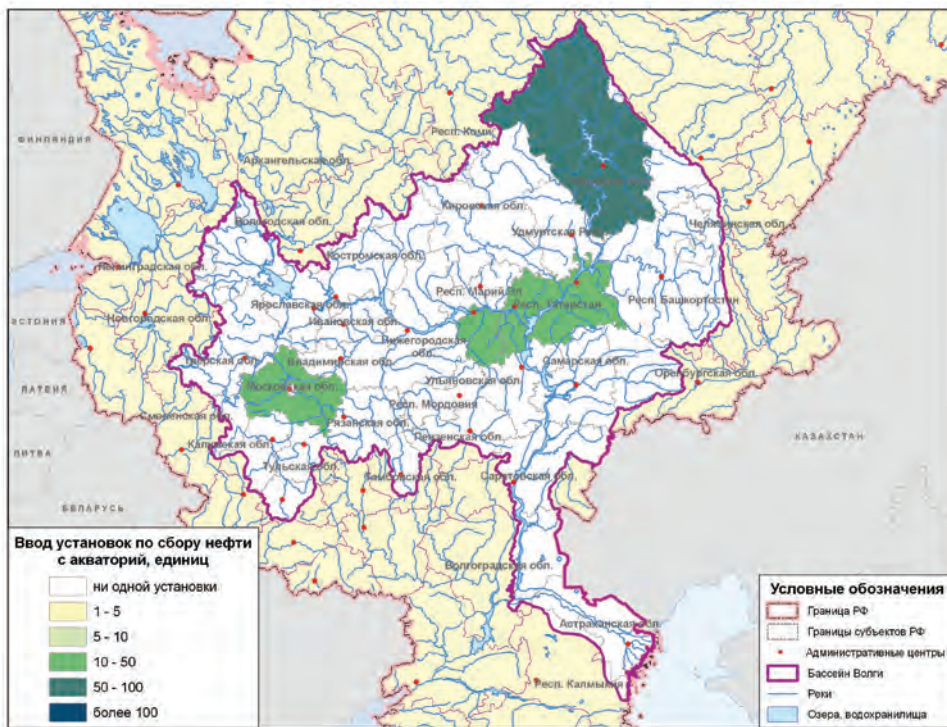
сельскохозяйственных организаций очистными сооружениями почти не изменилась и находится на уровне 5%. В то же время в бассейне р. Волги произошел заметный рост ввода в эксплуатацию установок по сбору нефти, мазута, мусора и других жидких и твердых отходов с акваторий водоемов, хотя в целом по территории России он существенно сокращается. В 2015–2016 гг. количество введенных в эксплуатацию установок выросло по сравнению с 2010 г. в 5–9 раз (рис. 2.9). Наиболее активные работы по этому мероприятию ведутся в Пермском крае и Республике Башкортостан.

2.1.4 Изменение качества воды водных объектов в бассейне Волги

Качественное состояние водных объектов, уровень их загрязненности оказывают прямое влияние на эколого-водохозяйственную обстановку в России. Сложившаяся практика крайне низкого финансирования водохозяйственных и водоохраных мероприятий обостряет проблему обеспечения населения и отраслей экономики качественной водой. В то же время



Масштаб: 1:10 500 000



Масштаб: 1:10 500 000

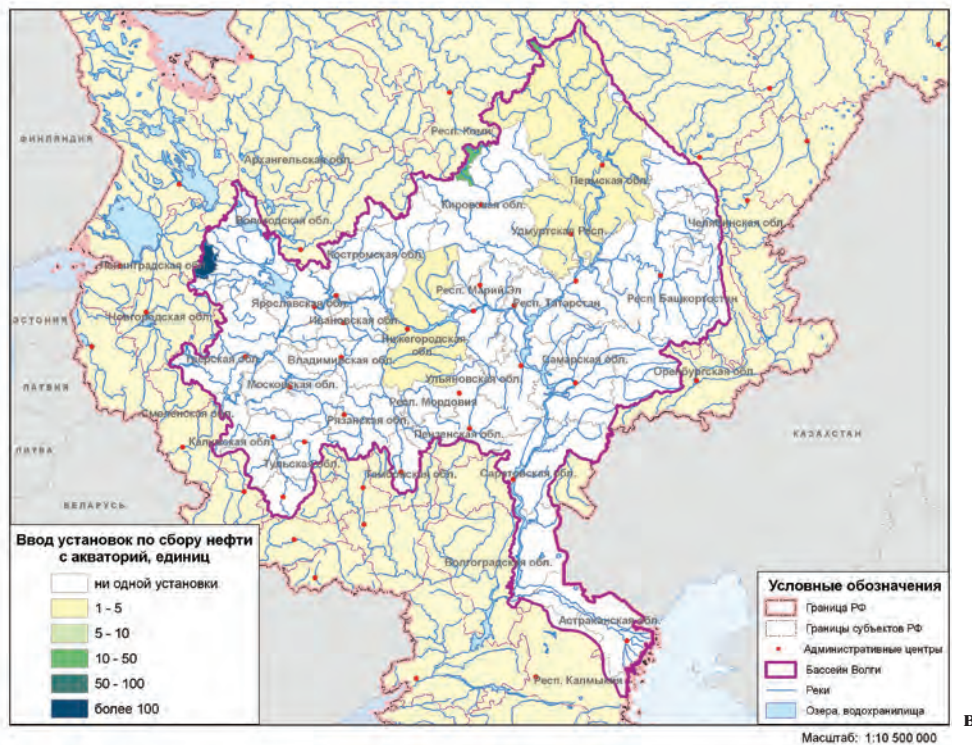


Рис. 2.9. Пространственно-временная динамика ввода установок по сбору нефти с акваторий в бассейне Волги, единиц (по ГИС «Риск диффузного загрязнения Волги»): а – 2009 г.; б – 2016 г.; в - 2017 г.

деятельность по восстановлению устойчивого экологического состояния водных объектов требует все больших средств, так как значительно снижена их самоочищающая способность.

Исходя из приведенных выше данных о снижении в 1990–2000-е гг. объема загрязненных сточных вод и сброса ЗВ в водные источники, можно было бы ожидать ощутимого улучшения их качества. В бассейнах ряда рек по некоторым ингредиентам это произошло. Однако в большинстве речных бассейнов состояние качества воды остается неудовлетворительным, по-прежнему не отвечая нормативным требованиям. Этот эффект вызван действием ряда неконтролируемых (рассредоточенных) источников загрязнения, а также источников вторичных (накопленных) загрязнений. По многим оценкам, именно они вносят основной вклад в загрязнение водных объектов.

Неконтролируемые источники находятся в основном вне системы контроля со стороны государственных органов, характеризуются нестационарностью режима и рассредоточенным характером поступления ЗВ в водные источники. К ним относятся: поверхностный смыв с селитебных территорий, промплощадок, сельскохозяйственных угодий, а также водный транс-



Рис. 2.10. Пространственно-временная динамика выбросов в атмосферу твердых загрязняющих веществ от стационарных источников в бассейне Волги, т/км² (по ГИС «Риск диффузного загрязнения Волги»)

порт, карьерные разработки, рекреация, свалки и захоронения бытовых отходов, атмосферные выбросы городов, промышленных объектов, транспорта, участвовавшие случаи аварий и катастроф и пр.

Анализ динамики качества поверхностных вод выполнен на основе статистической обработки данных гидрохимической сети Росгидромета по наиболее характерным для каждого водного объекта показателям [Государственный ..., 2019б]. Приоритетными ЗВ поверхностных вод к настоящему времени остаются нефтепродукты, фенолы, легкоокисляемые ОВ, соединения тяжелых металлов, аммонийный и нитритный азот.

В последнее десятилетие вода верхневолжских водохранилищ, за исключением единичных створов, характеризуется как «загрязненная». К наиболее характерным ЗВ воды верхневолжских водохранилищ, среднегодовое содержание которых в последние 10 лет изменяется, как правило, незначительно, относятся ОВ, соединения меди, в отдельных створах – легкоокисляемые ОВ. В Ивановском и Угличском водохранилищах к ним добавляются соединения железа, у г. Дубны – фенолы. Качество воды большинства притоков верхневолжских водохранилищ варьирует от «загрязненных» до «грязных». Комплексный анализ основных блоков экологического состоя-

ния Иваньковского водохранилища показывает ухудшение качества воды и деградацию водоема [Веницианов, Кирпичникова, 2016].

Качество воды Чебоксарского водохранилища на протяжении многих лет варьирует от «загрязненной» до «грязной». Наиболее часто к категории «грязной» относились воды на участках водохранилища у г. Кстово и г. Нижнего Новгорода, реже – ниже г. Кстово и г. Балахны. Характерными загрязнениями на протяжении многих лет являются соединения меди, железа и ОВ (по ХПК). В последние годы наблюдалось увеличение среднегодовых концентраций аммонийного и нитритного азота. В бассейне Чебоксарского водохранилища по-прежнему к «грязным» отнесены воды отдельных рек: в Республике Мордовия – рек Инсар и Нуи; Нижегородской области – рек Пыры, Кудьмы; Пензенской – рек Тешнярь и Суры.

Степень загрязненности воды р. Оки изменяется по течению. На участке реки в пределах Орловской, Калужской и Тульской областей в течение многолетнего периода вода оценивалась как «загрязненная». В пределах Московской области ниже г. Серпухова качество воды ухудшалось до «грязной». Снижение качества воды реки ниже г. Коломны обусловлено не только воздействием загрязненных сточных вод города, но и поступлением загрязненных вод р. Москвы. Далее по течению реки вода характеризуется как «грязная».

Загрязненность воды р. Москвы возрастает от «загрязненной» на входе в г. Москву и «грязной» как в черте г. Москвы, так и далее по течению в створе ниже г. Воскресенска. Вода большинства притоков р. Москвы по качеству оценивается как «грязная». На протяжении ряда лет критическими ЗВ воды как р. Москвы, так и ее притоков являются аммонийный и нитритный азот, легкоокисляемые ОВ.

Повышение эффективности работы Щелковских очистных сооружений после проведенной реконструкции способствовало улучшению качества воды р. Клязьмы на территории Московской области от «экстремально грязной» до «грязной» практически во всех створах наблюдений. Ниже по течению на территории Владимирской области вода реки стабильно оценивается как «грязная».

В многолетнем плане вода собственно р. Камы, каскада ее водохранилищ и притоков характеризовалась повышенным содержанием соединений марганца, железа, меди и ОВ. В 2018 г. количество створов, вода которых оценивалась как «грязная», уменьшилось и составило 17% общего количества створов, при этом возросло и стало превалировать число пунктов, где вода характеризовалась как «загрязненная».

Качество воды в бассейне р. Белой в многолетнем плане характеризуется повышенным содержанием соединений марганца, меди, железа, ОВ и формируется под влиянием сточных вод предприятий топливно-энергетического, нефтехимического, нефтеперерабатывающего, металлургического комплексов, ЖКХ, а также поверхностным и подземным стоком с сельских, промышленных и прочих водосборных площадей. Вода р. Белой ниже г. Стерлитамака оценивается как «грязная».

Среди притоков р. Камы и ее водохранилищ (без бассейна р. Белой) в последние годы превалировали «загрязненные» воды. В 2018 г., как и в прошлые годы, в бассейне р. Камы наиболее грязными являлись реки Косьва, Чусовая, Северушка, Иж и др., вода которых характеризовалась как «грязная». Река Косьва ниже г. Губахи многие годы загрязняется соединениями железа, среднегодовая концентрация которых в 2018 г. соответствовала уровню высокого загрязнения и составила 35 ПДК. Р. Чусовая из года в год наиболее загрязнена на участке ниже г. Первоуральска, где ее качество оценивается как «грязная». В 2018 г. в створе ниже города к характерным ЗВ относились 12 ингредиентов.

В течение многолетнего периода в Куйбышевском и Саратовском водохранилищах преобладают «загрязненные» воды. Более высокий уровень загрязненности воды («грязная») чаще всего отмечается на участке Куйбышевского водохранилища в районе г. Казани. Характерными загрязнениями воды Куйбышевского водохранилища остаются ОВ (по ХПК), соединения меди и марганца. На участке Саратовского водохранилища в черте г. Саратова вода характеризовалась как «грязная», хуже показателя предыдущих 10 лет.

В 2018 г. вода Волгоградского водохранилища и р. Волги у г. Волгограда, как и в предыдущие годы, оценивалась как «загрязненная». К характерным ЗВ относятся ОВ, соединения меди и цинка, у г. Волгограда к ним добавляются фенолы.

Вода р. Волги ниже г. Астрахани в последние 10 лет стабильно оценивается как «грязная». Перечень характерных ЗВ воды на этом участке реки расширился до 11: ОВ (по ХПК и БПК₅), аммонийный и нитритный азот, фенолы, нефтепродукты, соединения меди, железа, цинка, марганца и молибдена.

Значительный интерес представляют данные Роспотребнадзора по динамике качества вод [Охрана ..., 2001; Охрана ... 2006; Охрана ... 2010; Сайт Федеральной службы по надзору ...]. В табл. 2.2 представлены характеристики состояния качества воды водоемов I категории, используемых в качестве источников питьевого и хозяйственно-бытового водопользования населения, для субъектов федерации, не менее 30% территории которых входит в бассейн Волги. В некоторых регионах Волжского бассейна число отобранных проб в водоемах I и II категории было незначительным, либо они вовсе не отбирались.

Состояние источников централизованного питьевого водоснабжения и качество воды в местах водозабора изменяется медленно и продолжает оставаться неудовлетворительным. Удельный вес неудовлетворительных проб по санитарно-химическим показателям в водоемах первой категории из 24 представленных регионов в 10 регионах даже увеличился и на более половине территорий был хуже, чем среднероссийский показатель. Особенно велико загрязнение воды по этим показателям в настоящее время в водоемах Владимирской, Рязанской, Ярославской, Кировской, Нижегородской областях, Пермском крае (рис. 2.11).

Таблица 2.2

Удельный вес исследованных проб, не соответствующих санитарно-эпидемиологическим требованиям по санитарно-химическим и микробиологическим показателям в водах I категории регионов бассейна р. Волги, %

Субъект федерации	Санитарно-химические показатели				Микробиологические показатели			
	1996 г.	2005 г.	2015 г.	2018 г.	1996 г.	2005 г.	2015 г.	2018 г.
Вологодская обл.	41,2	46,8	16,2	26	23,9	17,9	7,1	5,2
Владимирская обл.	55,9	30,2*	80,0*	59,7*	40,4	39,6*	41,5	36,3
Ивановская обл.	16,5*	41,4	31,3*	25,6*	60,9*	34,4	22,8	20,1
Калужская обл.	9,7*	48,7*	25,0*	30,0*	24,5*	14,9	40,7*	25,6*
Костромская обл.	30,7	12,2	12,9*	8,3*	22,6	16,2	9,7	17,7
Московская обл.	26,5	39,0	28,6	33,2	18,7	34,8	25	20,0
Рязанская обл.	22,1	4,5*	28,1*	75,0*	49,4	50,4	1,9	3,1
Тверская обл.	23	38,0	26,6	14,6	16,9	20,6	19,7	7,7
Ярославская обл.	16	35,0	21,1	50	25,5	18,2	14,2	35,6
Республика Чувашия	24,7	7,3*	18,3	17,8	13,3*	20,4*	8,1	5,3
Кировская обл.	56,7	82,8	45	45,7	31,6	36,1	24,2	26,2
Нижегородская обл.	29,6	29,8	38,2*	43,8*	7,4	24,2	48,2*	34,0*
Республика Татарстан	15,9	32,7	22,0*	6,7	8,7	13,1	3,1*	6,1
Астраханская обл.	14,1	16,0	3,9	11,9	12,1	12,6	5,2	0,5
Волгоградская обл.	20,7*	8,9	35,2	0,1	21,3	15,2	3,6	0,7
Оренбургская обл.	14,4	12,3	0,7	0,8	14,1	11,5	0,8	0,0
Пензенская обл.	63,6	43,2*	6,7*	100,0*	26,4	7,9*	36,8*	100,0*
Самарская обл.	35,85	51,0*	21,9*	33,9	18	39,1*	26,9	1,0
Саратовская обл.	14,2	23,0	12,1	11,7	29,7	19,6	6,7	6,0
Ульяновская обл.	44,8	36,4*	34,9	36,1*	24,8	16,7	33,3*	29,4*
Республика Башкортостан	13,6	19,7	26,8*	12,1*	21,1	5,9	7,5	5,6*
Удмуртская Республика	26,4	30,4	21,9*	7,5*	11,9	10,9	9,5	20,0*
Пермский край	17,9	39,6	57,5	43,7	21,3	35,9	7,4	4,3
Челябинская обл.	18,8	28,6	31,8	27,2	12	6,7	11,3	4,1
Россия	24,3	28,0	23,3	23,6	22,1	23,7	16,0	15,0

* Общее число исследованных проб меньше 100.

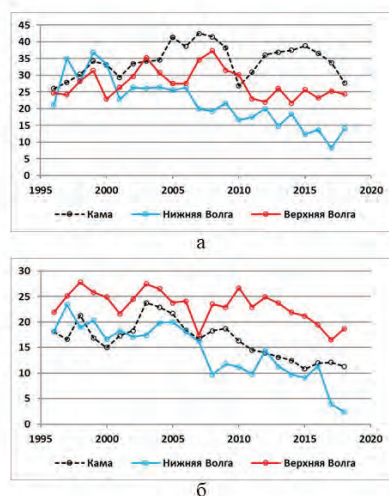


Рис. 2.11. Изменение доли исследованных проб, не соответствующих санитарно-эпидемиологическим требованиям в водоемах I категории подбассейнов Волги, %: а – санитарно-химические показатели; б – микробиологические показатели

По микробиологическим показателям качество воды за 22 года ухудшилось в семи регионах. В 2018 г. удельный вес исследованных проб, не соответствующих санитарно-эпидемиологическим требованиям по микробиологическим показателям в водоемах I категории, в 11 регионах бассейна р. Волги (46% представленных в таблице) хуже среднероссийского показателя. По паразитологическим показателям в 2018 г. не соответствовало санитарным требованиям 5,2% проб во Владимирской области, 3,6% в Чувашской Республике, 2,1% в Ярославской и 1,7% в Кировской областях, что существенно превышало общероссийский уровень (0,3%).

Если рассматривать процесс изменения качества воды более укрупненно (в разрезе подбассейнов Волги) и по каждому году, можно отметить, что в бассейне Верхней Волги доля неудовлетворительных проб по санитарно-химическим показателям за более чем 20 лет не изменилась. В бассейне р. Камы она заметно растет, а в бассейне Нижней Волги – существенно сокращается (рис. 2.11). По микробиологическим показателям во всех подбассейнах отмечается снижение доли неудовлетворительных проб, однако на обширной территории Верхней Волги она в настоящее время все еще превышает среднероссийский уровень.

Качество воды водоемов II категории, находящихся в местах рекреации населения, отличается от качества воды водоемов I категории (табл. 2.3). Удельный вес исследованных проб, не соответствующих санитарно-эпидемиологическим требованиям по санитарно-химическим показателям в водоемах II категории, по тому же списку регионов бассейна р. Волги, которые представлены в табл. 2.2, в среднем ниже, чем доля проб в водоемах I ка-

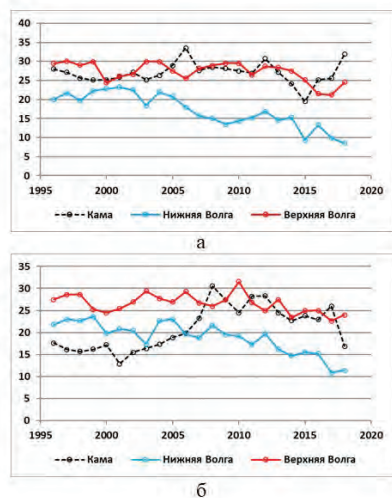


Рис. 2.12. Изменение доли исследованных проб, не соответствующих санитарно-эпидемиологическим требованиям в водоемах II категории подбассейнов Волги, %: а – санитарно-химические показатели; б – микробиологические показатели

тегории. Однако по микробиологическим показателям качество воды водоемов II категории значительно уступает качеству воды водоемов I категории – доля неудовлетворительных проб существенно выше.

По санитарно-химическим показателям качество воды водоемов II категории (рис. 2.12) за 22 года ухудшилось в семи регионах, а в трех осталось на прежнем уровне. Более чем на половине территорий Волжского бассейна качество воды по этому показателю было хуже, чем в среднем по России. По микробиологическим показателям качество воды за тот же срок ухудшилось в девяти регионах и в двух осталось на прежнем уровне, на половине территорий бассейна ситуация была хуже среднероссийского уровня. Особенно резко микробиологическое загрязнение водоемов нарастало во Владимирской, Ярославской областях, Пермском крае.

Если смотреть более укрупнено, то в водоемах II категории, по которым отбирается в 3–4 раза больше проб, изменение качества воды еще менее оптимистично, чем в водоемах I категории. В бассейне Верхней Волги за 20 лет ситуация с долей неудовлетворительных проб по санитарно-химическим показателям не изменилась, а в бассейне р. Камы после непродолжительного улучшения стала ухудшаться. По микробиологическим показателям доля неудовлетворительных проб в бассейне Верхней Волги чуть снизилась, а в бассейне р. Камы заметно выросла. По обоим бассейнам изменения с качеством воды хуже, чем в водоемах I категории. На Нижней Волге по обеим группам показателей доля неудовлетворительных проб снижается, что, вероятно, связано с аграрной специализацией региона.

Таблица 2.3

Удельный вес исследованных проб, не соответствующих санитарно-эпидемиологическим требованиям по санитарно-химическим и микробиологическим показателям в водоемах II категории регионов бассейна р. Волги, %

Субъект федерации	Санитарно-химические показатели				Микробиологические показатели			
	1996 г.	2005 г.	2015 г.	2018 г.	1996 г.	2005 г.	2015 г.	2018 г.
Вологодская обл.	45,3	52,1	23,1	16,9	37,9	22,0	13,3	16,6
Владимирская обл.	49,9	43,2	52,4	48,8	25,9	18,5	32,4	29,5
Ивановская обл.	30,1	24,5	46,8	48,6	43,0	36,7	46,4	39,8
Калужская обл.	10,4	13,1	32,7	22,2	25,9	3,9	28,0	23,2
Костромская обл.	34,4	13,0	28,5	40,0	16,7	23,4	8,7	15,1
г. Москва	65,4	64,3	39,0	33,1	60,1	69,1	57,7	54,0
Московская обл.	33,6	41,7	32,2	32,1	25,8	43,2	25,4	25,3
Орловская обл.	28,8	36,6	19,7	12,3	18,4	8,2	5,3	7,3
Рязанская обл.	24,8	9,4	27,1	23,9	20,1	21,8	12,9	14,8
Тамбовская обл.	8,3	14,0	5,9	4,4	16,9	11,4	5,8	13,0
Тверская обл.	11,9	9,4	28,1	25,8	21,5	34,4	45,0	28,7
Тульская обл.	30,4	31,9	26,5	24,7	36,9	32,1	11,6	6,2
Ярославская обл.	30,6	36,0	29,9	33,0	38,2	42,3	48,3	57,0
Республика Марий Эл	17,9	2,8	1,4	1,3	23,3	2,7	0,8	0,5
Республика Мордовия	30,7	23,1	15,4	1,6	22,9	12,4	14,8	20,3
Республика Чувашия	21,8	16,0	0,8	1,1	9,6	14,3*	6,8	7,3
Кировская обл.	42,5	45,0	18,6	38,8	33,0	31,5	32,5	32,8
Нижегородская обл.	32,8	52,0	25,1	18,9	20,4	33,2	35,3	24,0
Республика Татарстан	28,7	21,5	18,3	8,7	15,2	22,9	16,2	5,9
Астраханская обл.	22,4	12,2	1,9	2,5	18,9	14,9	16,1	1,5
Волгоградская обл.	17,2	19,7	8,7	9,8	19,9	24,2	14,0	21,8
Пензенская обл.	43,8*	14,3	22,5	36,3	5,7	21,5	29,8	43,1
Самарская обл.	31,6	47,4	17,4	21,4	20,3	42,8	29,7	22,2
Саратовская обл.	27,6	21,9	17,6	16,7	42,5	25,2	18,1	17,5
Ульяновская обл.	9,8	8,8	3,6	22,8	14,7	12,4	3,4	4,5
Республика Башкортостан	20,2	22,0	12,0	17,6	13,4	8,1	8,3	4,6
Удмуртская Республика	32,1	56,9	22,2	16,0	14,4	3,7	23,9	25,2

Пермский край	33,8	31,5	28,1	56,7*	12,4	23,3	38,7	12,9
Россия	27,8	27,4	22,0	20,3	22,5	24,3	23,3	20,2

* Общее число исследованных проб меньше 100.

Итак, анализ данных гидрохимической сети Росгидромета, а также данных Роспотребнадзора показывает, что степень загрязненности водных объектов в бассейне р. Волги в целом устойчиво сохраняется на уровне прошлых лет. Практически все эти водные объекты подвержены антропогенному воздействию. Неблагополучно состояние малых рек, особенно в зонах крупных промышленных центров, из-за поступления в них с поверхностным стоком и отработанными сточными водами большого количества ЗВ. В сельской местности значительный ущерб малым рекам наносится из-за нарушения режима хозяйственной деятельности в водоохранных зонах и смыва в водотоки органических и минеральных веществ, пестицидов, частиц почвы в результате водной эрозии. Крупными загрязнителями окружающей природной среды являются животноводческие комплексы.

Несмотря на существенное снижение (по данным форм 2–ТП (водхоз)) контролируемой массы поступающих ЗВ, улучшения качества вод в целом не наблюдается, что можно объяснить следующими причинами: значительными запасами ЗВ в почвах, грунтах и донных отложениях; продолжающимся увеличением загрязненности урбанизированных территорий; усиливающейся интенсивностью эрозионных процессов и увеличением твердого стока в поверхностные водные объекты; участвовавшим нарушением водного законодательства; ростом чрезвычайных ситуаций в результате аварий и катастроф в промышленности, ЖКХ и на транспорте [Демин, 2011].

В настоящее время экономические инструменты регулирования водопользования недостаточно мотивируют водопользователей к проведению водоохранных мероприятий. Современный уровень платы за сброс сточных вод очень низок, субъектам хозяйственной деятельности более выгодно осуществлять платежи за допустимые сбросы или платить незначительные штрафы за их превышение, чем снижать сброс ЗВ путем повышения эффективности очистных сооружений, внедрения малоотходных и безотходных технологий и т.п.

Сумма платежей за негативное воздействие на водные объекты достигла максимальной величины в 2015 г. – 4,92 млрд руб. [Государственный ..., 2019a]. Позже соответствующие выплаты предприятиями-водопользователями значительно уменьшились: в частности, в 2017 г. до 2,60, а в 2018 г. до 2,63 млрд руб. Помимо значительного увеличения бюджетного финансирования в охрану вод нужны другие инструменты, в том числе нерыночного характера.

2.2 ОЦЕНКА ВКЛАДА ДИФFUЗНЫХ ИСТОЧНИКОВ В ОБЩЕЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ БАССЕЙНА ВОЛГИ

2.2.1 Динамика диффузного загрязнения на водосборе Иваньковского водохранилища

Физико-географическая характеристика. Водосбор Иваньковского водохранилища расположен на западе средней части Восточно-Европейской равнины и относится к бассейну Верхней Волги, имеет площадь 41000 км². Численность населения на водосборе составляет около 1 млн чел., плотность населения – 8,6 чел./км² (средняя по бассейну р. Волги 32 чел./км²).

В административном отношении водосбор большей частью расположен в Тверской области – 74%, в пределах Новгородской области 4%, Смоленской 13%, Московской 10%. Иваньковское водохранилище – второй по значимости (после Москворецкой системы водохранилищ) источник водоснабжения г. Москвы, образовано в 1937 г. перекрытием русла Волги плотиной

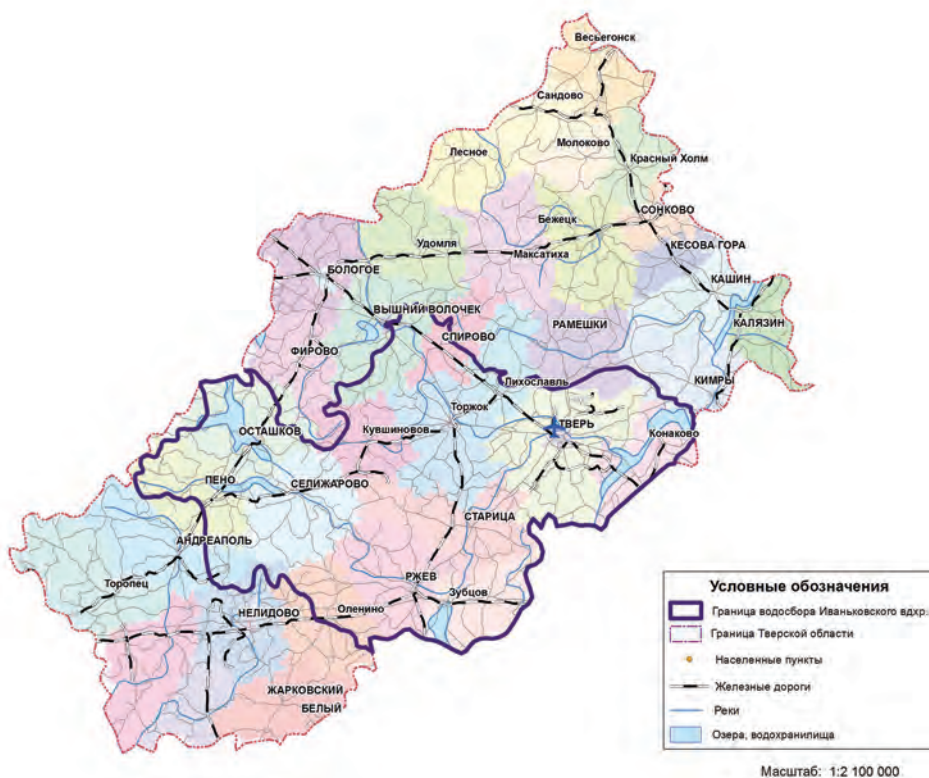


Рис. 2.13. Административные районы Тверской области, расположенные в пределах водосбора Иваньковского водохранилища



Рис. 2.14. Распределение площадей и численности населения по административным районам водосбора Иваньковского водохранилища

у г. Дубна (с. Иваново) с целью улучшения коммунального и промышленного водоснабжения, судоходства, гидроэнергетики, развития рыбного хозяйства и рекреации, является первой ступенью Волжско-Камского каскада водохранилищ. Водосбор относится к Волжской системе водоснабжения г. Москвы, подача воды в столицу осуществляется через канал им. Москвы с максимальной пропускной способностью 2,3 км³/год. Иваньковское водохранилище является устьевым водоемом водосбора и, по данным ИБВВ РАН, в настоящее время имеет статус эвтрофного водоема [Корнева, 2015].

Водосбор включает 17 административных районов Тверской области (рис. 2.13), самый густонаселенный район – Конаковский (рис. 2.14), в пределах которого находится и само Иваньковское водохранилище с площадью водного зеркала 327 км² (табл. 2.4) (рис. 2.15).

Таблица 2.4

Морфометрические характеристики Иваньковского водохранилища

Основные характеристики	Значения
Отметка НПУ, м БС	123,89
Отметка УМО, м БС	119,39
Отметка форсированного горизонта, м БС	124,09
Площадь водного зеркала при НПУ, км ²	327
Протяженность береговой линии, км	520
Объем водохранилища при НПУ, км ³	1,12
Объем сливной призмы, км ³	0,813
Резервный объем, км ³	0,070
Средняя глубина при НПУ, м	3,4
Наибольшая глубина, м	19,0
Наибольшая ширина, км	8,0
Длина, км	127



Рис. 2.15. Цветение фитопланктона в Ивановском водохранилище

Рельеф. Для водосбора Ивановского водохранилища в целом характерен равнинный рельеф, где возвышенные всхолмленные участки мореных равнин и гряд сочетаются с обширными волнистыми водно-ледниковыми или плоскими озерно-ледниковыми и аллювиальными низинами. Карта рельефа водосбора в пределах Тверской области представлена на *рис. 2.16*.

Самая высокая точка водосбора – гора Каменник, ее высота 321 м БС, расположена на Валдайской гряде. Низменные равнины юго-востока лежат на высоте 120–150 м над уровнем моря, что определяет в основном течение рек в юго-восточном направлении.

Все правобережье Волги имеет характер возвышенной равнины с высотой 200–300 м, где плоские холмы чередуются с речными долинами и оврагами.

По левобережью располагается наиболее высокая часть Валдайской возвышенности. Однако, несмотря на большую высоту над уровнем моря, здесь так же, как и на правобережье, преобладает равнинный рельеф, и слабое развитие речной сети обуславливает сильную заболоченность центральной части левобережья.

Почвы. Водосбор Ивановского водохранилища расположен в пределах Нечерноземной зоны Российской Федерации, целиком в подзоне дерново-подзолистых почв южной тайги. Рельеф территории сформирован под влиянием деятельности ледника, водно-ледниковых потоков, морскими, озерными, речными водами.

Значительные территории покрыты лесами, большие площади занимают болота, преимущественно верховые. Основными формами рельефа являются обширные задровые заболоченные равнины.

Основные почвообразующие породы: покровные суглинки, карбонатные покровные суглинки, моренные отложения.

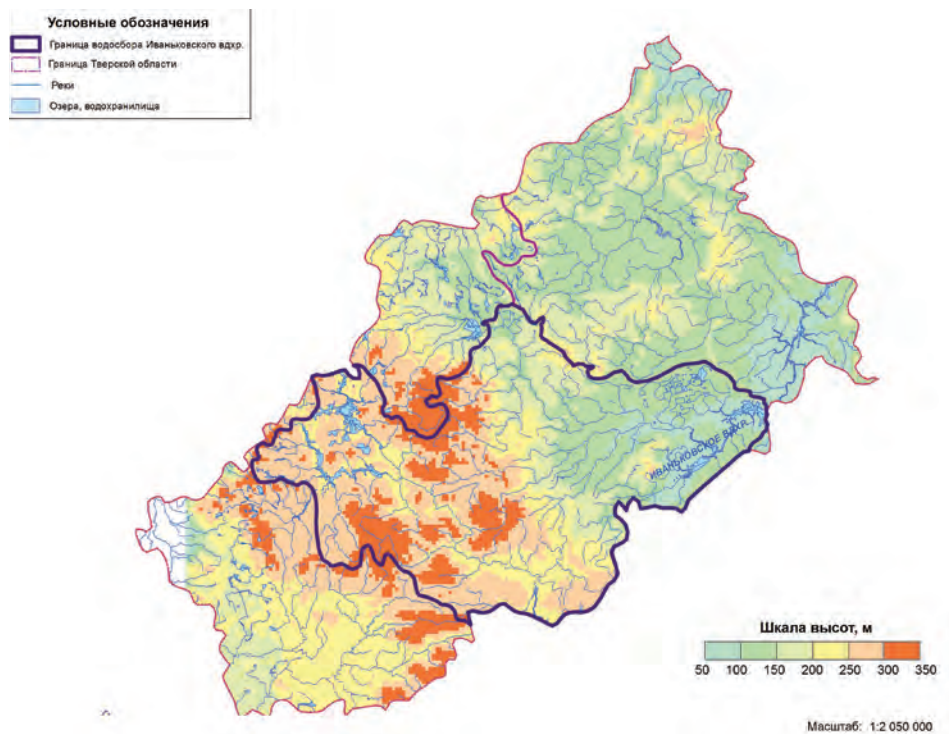


Рис. 2.16. Карта рельефа водосбора Иваньковского водохранилища в пределах Тверской области

Основные процессы, формирующие почвенный покров территории Тверской области: подзолообразование, глееобразование, заболачивание и культурное почвообразование. Наибольшее распространение здесь получили дерново-подзолистые почвы различной степени оподзоливания и гидроморфизма.

Структура почвенного покрова водосбора представлена на *рис. 2.17*.

Растительность. Рассматриваемый водосбор – один из самых лесистых в Европейской части России, массивы лесов занимают более 60% его площади. На хвойные насаждения приходится 36% территории, остальное – мягколиственные, в том числе 35% – береза. Очень малую часть лесного фонда занимают твердолиственные породы.

Леса играют важную роль в экономике региона, имеют исключительно важное гидрологическое и водоохранное значение, одновременно служат важнейшим стабилизирующим компонентом биосферы, способствующим сохранению и оздоровлению окружающей среды.

Климат. Климат рассматриваемого водосбора умеренно-континентальный, но ввиду довольно большой протяженности водосбора с юго-запада на



Рис. 2.17. Структура почвенного покрова водосбора Иваньковского водохранилища

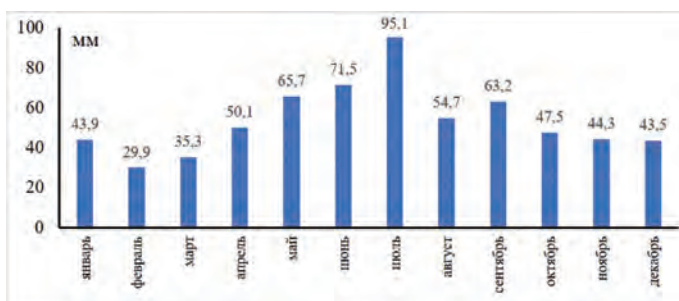


Рис. 2.18. Среднемесячный слой осадков по многолетним данным (1910–2017 гг.) Метеостанция г. Тверь

северо-восток континентальность климата в этом направлении растет, и климат области довольно сильно варьирует. Средние температуры января меняются от -6°C на юго-западе до -10°C на северо-востоке, июля – от $+17$ до $+19^{\circ}\text{C}$.

Среднемесячный слой осадков по многолетним данным (1910–2017 гг.) метеостанции г. Твери представлен на рис. 2.18, максимальное количество осадков приходится на июль месяц: 95,1 мм, минимальное – на февраль: 29,9 мм.

Гидрография и гидрология. Гидрографическая сеть рассматриваемой территории относится к бассейну Каспийского моря. Главной водной артерией является р. Волга, берущая свое начало в точке с координатами $57^{\circ}15'$ с.ш. и $32^{\circ}30'$ в.д., абсолютная отметка истока 228,60 м. Длина р. Волги до замыкающего створа г. Дубны – 559 км. Линейная гидрографическая схема представлена на рис. 2.19.

В бассейне насчитывается 2222 притока общей длиной 10088 км, причем большая часть приходится на самые малые притоки длиной менее 10 км, их общая протяженность 4644 км. Средняя густота речной сети $0,40 \text{ км/км}^2$,

наибольшая 0,75 км/км² (р. Талица), наименьшая – 0,16 км/км² (р. Созь).

Бассейны трех главных впадающих в водохранилище рек – Волги, Тверцы и Шоши – занимают 84 % площади водосбора. На долю Волги приходится 59% общего притока, Тверцы – 24%, Шоши и притоков Шошинского плеса – 11%.

Большая часть годового стока приходится на весну – 51%, 36% – на лето и осень, еще 13 % стока поступает зимой.

Источники загрязнения вод.

Рассматриваемый водосбор относится к объектам с мощной антропогенной нагрузкой. В промышленном потенциале доминируют электроэнергетика, машиностроение и пищевая промышленность (рис. 2.20), в сельскохозяйственном секторе развиты животноводство и растениеводство, в структуре земель преобладает удобряемая пашня (рис. 2.21).

Оценка, сопоставление и ранжирование источников загрязнения двух классов – точечных (контролируемых) и диффузных (неконтролируемых) проводились с учетом анализа многолетних тенденций за последние 30–50 лет. По гидрохимическим показателям расчеты проводятся для азота, фосфора, ОВ и нефтепродуктов. Основой методических схем является многолетняя электронная база данных расчетных параметров:



Рис. 2.19. Линейная гидрографическая схема водосбора Иваньковского водохранилища

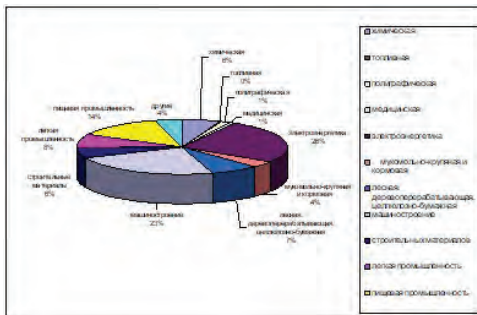


Рис. 2.20. Промышленный потенциал водосбора Иваньковского водохранилища

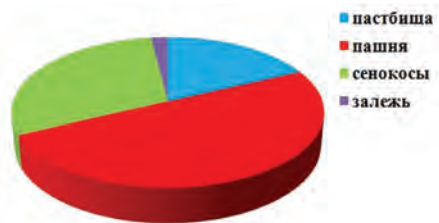


Рис. 2.21. Структура сельскохозяйственных земель водосбора Иваньковского водохранилища

1. Метеорологические параметры: среднесуточная температура воздуха, месячная сумма осадков (мониторинг ЦГМС г. Твери).

2. Гидрологические параметры: ежедневные расходы воды по основным створам рек, составляющие водного баланса Иваньковского водохранилища (мониторинг ЦГМС г. Твери, ФГБУ Канал им. Москвы)

3. Гидрохимические параметры: основные притоки и водохранилище – мониторинг ЦГМС г. Твери, экспериментальный мониторинг – ИВП РАН.

4. Точечные (контролируемые) источники загрязнения – отчетность 2–ТП (водхоз): годовой объем сброса, годовая масса сброса определенного ЗВ, вид очистки, структура сброса, водоток-водоприемник, административная принадлежность.

5. Диффузные (неконтролируемые) источники загрязнения:

- городские территории и промышленные зоны (утвержденные схемы Генеральных планов) – экспликация по функциональным зонам;
- сельскохозяйственные территории (статистические данные Агрохимической службы Тверской области) – экспликация сельскохозяйственных угодий; общая масса и дозы вносимых минеральных и органических удобрений; численность животноводства по типам (крупный рогатый скот, свиньи, овцы, козы, лошади, куры); урожайность по типам культур (овощи, зерновые).

Определение весовых соотношений источников загрязнения по мощности воздействия на водные экосистемы является довольно сложной задачей, особенно в пределах расчетного интервала времени. Это обусловлено довольно яркой внутригодовой динамичностью воздействия диффузных источников загрязнения на водные объекты и относительной стационарностью точечных источников [Гордин, 1987; Гордин, Кирпичникова, 1990б]. В то же время при анализе многолетних рядов основных параметров необходимо учитывать разные уровни нагрузки. Для анализа основных характеристик антропогенной нагрузки выбран временной интервал 1984–2018 гг., на первом этапе рассматривалась временная динамика всех методических параметров как по итоговым оценкам для всего водосбора, так и для каждого административного района. Такой подход может быть использован для разработки ГИС, районирования водосбора по уровню нагрузки от точечных и диффузных источников загрязнения и далее для ранжирования водоохраных мероприятий по степени их эффективности [Гордин, Кирпичникова, 1992].

На втором этапе анализа многолетних рядов параметров основных источников загрязнения определены три характерных периода для оценки выноса ЗВ в гидрографическую сеть: 1986–88, 2003–05, 2015–18 гг. Основная задача при выборе трехлеток – зафиксировать экстремальные значения суммарной антропогенной нагрузки с минимальными и максимальными уровнями.

Следует отметить, что в классах точечных и диффузных источников загрязнения максимальный уровень нагрузки практически всех расчетных параметров наблюдался в 1980-е гг., далее за 35-летний период идет заметное снижение, исключением может быть площадь пашни и площадь городской застройки, также в последние годы идет заметное нарастание в отрасли животноводства по численности свиней (рис. 2.22–2.25).

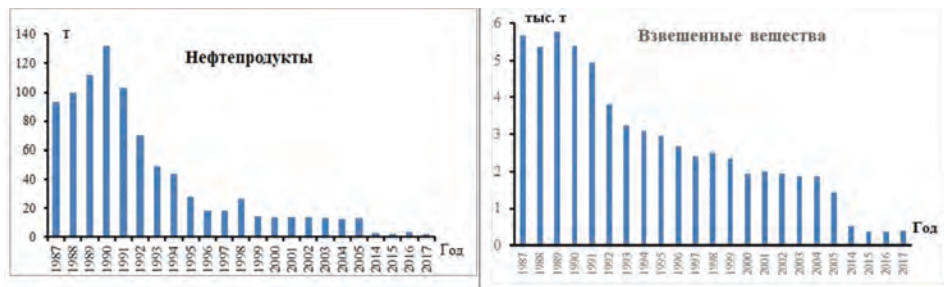


Рис. 2.22. Динамика точечных источников загрязнения по массе сбросов нефтепродуктов и взвешенных веществ. (1987–2017 гг.)

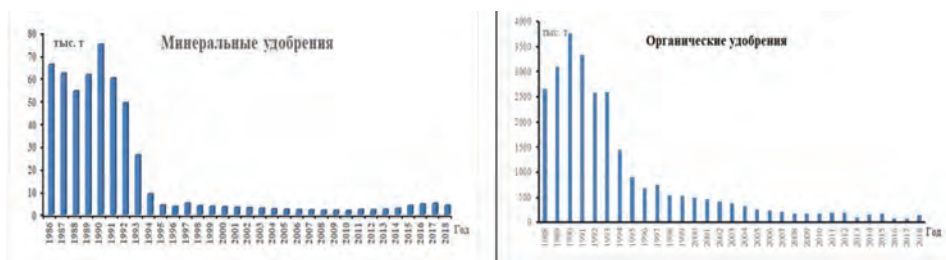


Рис. 2.23. Динамика внесения минеральных и органических удобрений (1986–2018 гг.)

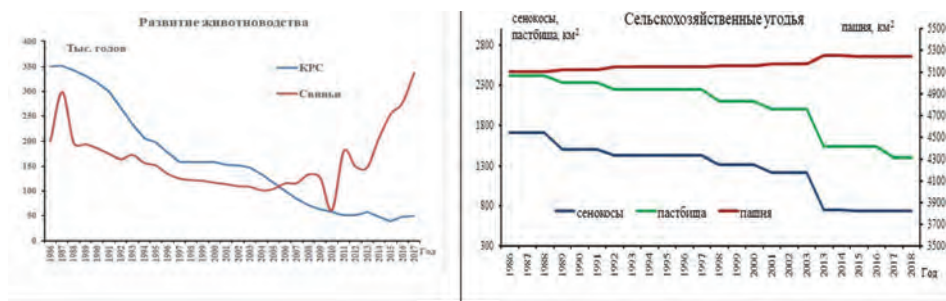


Рис. 2.24. Динамика развития показателей в сельскохозяйственном секторе по численности животноводства и типам сельскохозяйственных угодий (1986–2018 гг.)

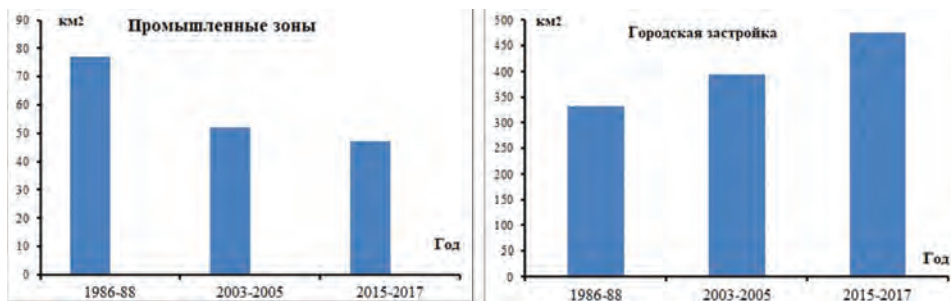


Рис. 2.25. Динамика площадей промышленных зон и городской застройки (1986-88 гг., 2003-2005 гг., 2015-2017 гг.)

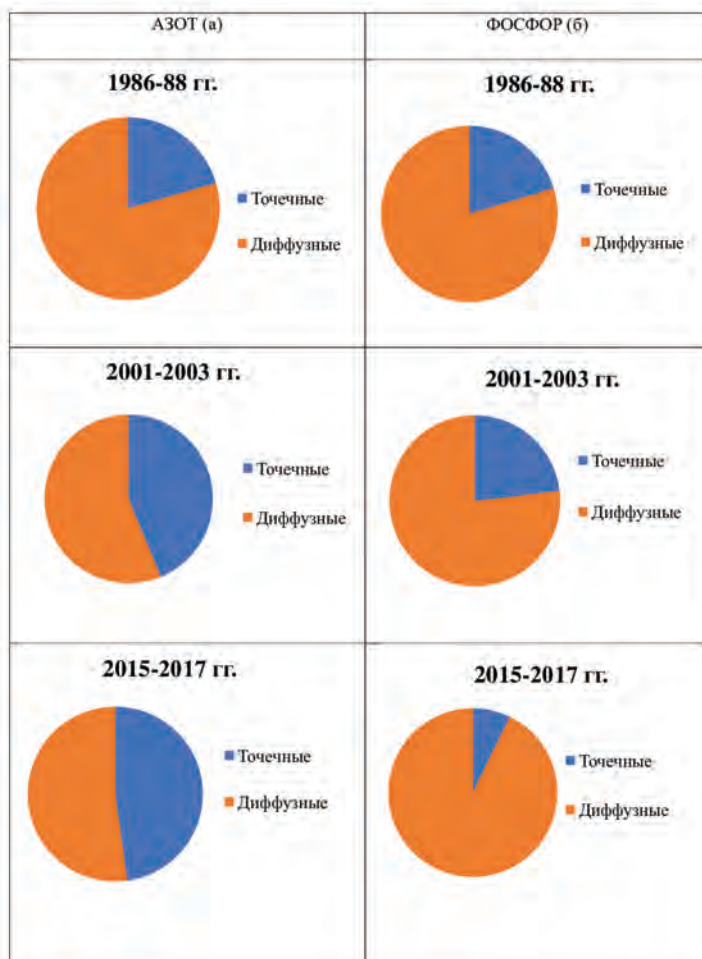


Рис. 2.26. Сопоставление точечных и диффузных источников загрязнения по азоту (а) и фосфору (б) при разных уровнях антропогенной нагрузки за многолетний период (1986-88 гг., 2001-03 гг., 2015-17 гг.)

Корректировка расчетных масс по выносу ЗВ от диффузных источников загрязнения проводилась на базе гидрохимических параметров основных притоков и водохранилища. В итоговых оценках использованы многолетние экспериментальные работы на типовых фрагментах водосбора Ивановского водохранилища и методические подходы, представленные в разделе 1.2.1 и в работах [Анспок, Штиканс и др., 1981; Башкин, 1979; Беличенко, 1983; Гордин, Кирпичникова, 1993; Кирпичникова, 1991; Кирпичникова, 2016; РД–АПК 1.10.15.02–17, 2017; Нежиховский, 1990; Нечаев, 1981; СП32.13330.2012, 2012; Рекомендации по расчету..., 2014; Рекомендации по обоснованию..., 2015]. Сопоставление двух классов источников загрязнения для всего водосбора за многолетний период представлены на *рис. 2.26, 2.27*. Несмотря на

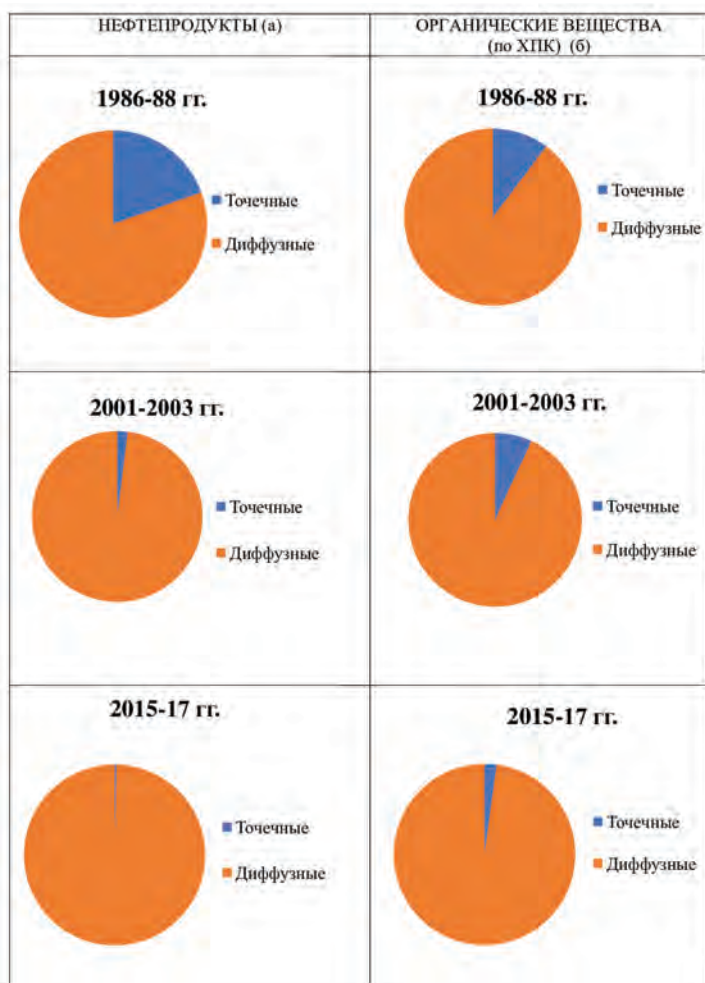


Рис. 2.27. Сопоставление точечных и диффузных источников загрязнения по нефтепродуктам (а) и органическим веществам (б) при разных уровнях антропогенной нагрузки за многолетний период (1986-88 гг., 2001-03 гг., 2015-17 гг.)

уменьшение общей антропогенной нагрузки на водосборе доминирующими по-прежнему являются неконтролируемые источники загрязнения диффузного характера.

2.2.2 Загрязнение тяжелыми металлами водотоков в бассейне Нижнекамского водохранилища

К наиболее распространенным ЗВ поверхностных вод России относятся тяжелые металлы (ТМ) [Качество ..., 2011–2018]. В бассейне Нижнекамского водохранилища ежегодно отмечается несколько десятков случаев ВЗ и ЭВЗ водных объектов ТМ, в том числе марганцем, медью, цинком [Государственные ..., 2006–2017].

Микрокомпоненты химического состава природных вод, относящиеся к ТМ, участвуют в биохимических процессах жизнедеятельности гидробионтов и могут выступать в качестве лимитирующего фактора. При повышенных концентрациях ТМ токсичны для живых организмов, ухудшают органолептические свойства питьевой воды и неблагоприятно воздействуют на здоровье человека [Влияние ..., 2002; Вишневецкий, Попружный, 2015; Моисеенко и др., 2010].

В водные объекты ТМ поступают от природных и антропогенных источников. Почвенно-геологические и климатические условия на водосборе водного объекта, особенности его питания в различные фазы водного режима определяют динамику фонового содержания ТМ. К дополнительному поступлению ТМ приводят многочисленные объекты хозяйственной деятельности, расположенные на водосборе.

2.2.2.1 Природно-хозяйственная характеристика бассейна

Нижнекамское водохранилище (НКВ) создано в долине р. Камы в 1979 г. Площадь частного водосбора НКВ между Нижнекамским (г. Набережные Челны) и Воткинским (г. Чайковский) гидроузлами составляет 186 тыс. км², большую его часть (142 тыс. км²) занимает бассейн р. Белой. Около $\frac{2}{3}$ площади водосбора в западной и центральной частях – равнинные территории, восточная часть – Уральская складчатая горная область. Средняя высота бассейна – 392 м, наибольшая – 1654 м (гора Яман-Тау). Залесенность составляет около 50% территории, озерность незначительна.

Климат территории континентальный. Наблюдается ряд переходов от климата полуаридных степных районов, где годовое количество осадков колеблется в пределах 300–400 мм, а средняя годовая температура воздуха около 3°C, к более увлажненным районам (северо-восточным и восточным горно-лесным), где годовое количество осадков превышает 600 мм, а средняя годовая температура воздуха ниже 1°C.

Питание рек, главным образом, снеговое. За период весеннего половодья проходит свыше 60% объема годового стока. Среднегодовой боковой приток воды в НКВ составляет 36,5 км³, из которых 26,1 км³ дает сток р. Белой. Для восполнения дефицита водных ресурсов, нередко возникающего в маловодные годы, в бассейне эксплуатируется около 400 водохранилищ и прудов объемом более 100 000 м³, а также множество более мелких прудов. Наиболее крупными водохранилищами являются Павловское на р. Уфе, Нугушское на р. Нугуш и Юмагузинское на р. Белой.

Особенностью геологического строения территории является широкое распространение рудных месторождений и значительная концентрация рудогенных элементов в горных породах. Свыше 3000 месторождений и проявлений различных видов полезных ископаемых открыто в бассейне НКВ [Республика ..., 1996]. Почвы водосбора (черноземы, дерново-подзолистые, серые лесные) характеризуются высоким содержанием гумуса и тяжелым механическим составом. На востоке области распространены хорошо дренируемые горные почвы. Почвы наследуют химический состав почвообразующих горных пород. В почве ТМ включаются в состав гумусовых веществ, образуя прочные комплексы с гуминовыми и фульвокислотами, и выводятся из нее в течение сотен и тысяч лет [Майстренко и др., 1996]. Повышенному накоплению ТМ способствует тяжелый механический состав почв [Возбуцкая, 1968]. Около 60% исследуемой территории – эрозивно опасные земли, ~1/3 территории эродировано в результате водной и ветровой эрозии. Эродированные почвы, обогащенные микроэлементами, способствуют поступлению ТМ в водные объекты с наносами [Республика ..., 1996; Хазиев ..., 2007].

Промышленное освоение региона началось почти 300 лет назад, было связано с разработкой месторождений полезных ископаемых и происходило без учета экологических ограничений. «Древние» антропогенно-преобразованные горнорудные ландшафты, современные промышленные предприятия по добыче и переработке минерально-сырьевых ресурсов, крупные населенные пункты и объекты их инфраструктуры – источники дополнительного поступления металлов на водосбор [Фашевская и др., 2018]. В восточной части водосбора такие источники – предприятия горнорудной промышленности, в западной и центральной частях – предприятия нефтедобычи, нефтепереработки, химии и нефтехимии, металлургии, машиностроения и энергетики, объекты складирования отходов производства и потребления. Основные пути попадания ТМ в водотоки от антропогенных источников: осаждение из атмосферы на акваторию и поверхность водосбора, поверхностный смыл с водосбора, сброс сточных вод, поступление из загрязненных подземных водоносных горизонтов или донных отложений.

В последние годы количество ЗВ, поступающих в водные объекты от контролируемых точечных источников, снижается по не вполне установленным причинам: возможно, в связи с уменьшением объемов водопотребления и водоотведения [Государственные ... , 2006–2017; Блоков, 2018]

или в связи с сокращением количества отслеживаемых водопользователей, предоставляющих статистические отчеты по форме 2–ТП (водхоз) [Государственный ..., 2017a]. В работах [Фашчевская и др., 2006; Fashchevskaya et al., 2018] выполнена оценка корректности содержащейся в отчетных формах 2–ТП (водхоз) информации. По результатам оценки выявлено большое число случаев, когда количество фактически содержащихся в сточных водах металлов значительно превышало данные статистики, в ряде случаев превышение составляло 1–2 порядка.

Выявленные различия могут объясняться недостатками существующей системы контроля состава сточных вод на предприятиях. При отсутствии на предприятиях средств автоматического непрерывного контроля содержания ЗВ в сточных водах оценки сброса ЗВ проводятся либо на основании отдельных эпизодических проб воды, либо косвенным образом по количеству выпускаемой продукции. Такие подходы неизбежно вносят существенные погрешности в определение фактических сбросов ЗВ от точечных источников [Селезнева, 2003; Щербаков и др., 2002].

2.2.2.2 Особенности формирования загрязнения водотоков ТМ

В водных объектах ТМ могут находиться во взвешенной, коллоидной и растворенной формах, последняя из которых представлена свободными ионами и растворимыми комплексными соединениями с органическими и неорганическими лигандами. Поступившие в водоток ТМ не подвергаются деструкции, а лишь мигрируют по течению, перераспределяясь между отдельными компонентами водных экосистем (водой, донными отложениями и биотой). Миграции способствует наличие в воде взвешенных частиц, которые сорбируют ТМ. Согласно [Левшина, 2012; Майстренко и др., 1996], количество меди, цинка и марганца, мигрирующих в виде взвеси, может достигать 98% от их общего содержания в воде. Адсорбция взвешенными частицами ионов металлов, выпадение их в осадок в виде малорастворимых неорганических соединений и захоронение донными отложениями приводят к временной детоксикации речной воды. При определенных физико-химических и гидравлических условиях часть металлов может переходить из твердой фазы в водную и служить источником вторичного загрязнения.

2.2.2.3 Разработка пространственно распределенной модели формирования качества воды водотоков в бассейне НКВ

Для исследования круговорота меди, цинка и марганца в бассейне НКВ (на его поверхности, в почве, грунтовых и речных водах) использована пространственно распределенная физико-математическая модель ECOMAG–HM (ECological Model for Applied Geophysics – Heavy Metals) [Мотовилов,

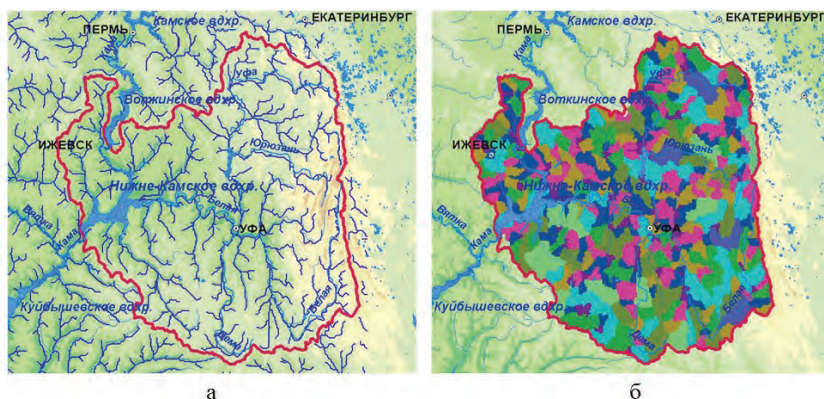


Рис. 2.28. Модельная схематизация речной сети (а) и водосборной площади (б) Нижнекамского водохранилища

Фашевская, 2018], работающая с суточным шагом по времени и состоящая из двух основных блоков: гидрологической подмодели формирования стока и гидрохимической подмодели миграции и трансформации ЗВ (см. описание модели в разделе 1.2.2.3).

Информационное обеспечение модели. Адаптация модели для бассейна НКВ выполнялась с использованием компьютерной технологии Информационно-моделирующего комплекса (ИМК) ЕСОМАГ [Мотовилов, Гельфан, 2018].

При модельной схематизации водосборной площади НКВ и речной сети с использованием ИМК ЕСОМАГ на основе цифровых тематических карт региона (рельефа, гидрографической сети, почв и ландшафтов) было выделено 503 расчетных элементарных водосбора, их средняя площадь составляет ~ 400 км². Модельная речная сеть кроме основной реки включает 50 притоков 1-го порядка, 131 приток 2-го порядка, 63 – 3-го порядка и 8 – 4-го порядка (рис. 2.28). На каждом элементарном водосборе выполняется моделирование гидрологических и гидрохимических процессов для четырех уровней: в зоне формирования поверхностного стока, в поверхностном слое почвы, в подстилающего его более глубоком слое, в грунтовых водах. В холодный период добавляется емкость снежного покрова. Схема заканчивается рассмотрением процессов трансформации стока и ЗВ в речной сети.

Для проведения расчетов и задания граничных условий модели в виде ежедневных полей метеорологических характеристик (температуры и влажности воздуха, осадков) задействовано 56 метеостанций, расположенных в бассейне НКВ или недалеко от его границ. Данные о ежедневных расходах воды на пяти гидрологических постах (рис. 2.29а) использованы для калибровки параметров (2001–2007 гг.) и валидации (2008–2013 гг.) гидрологической подмодели.



Рис. 2.29. Расположение пунктов мониторинга в бассейне НКВ:
 а – пункты наблюдения за стоком (треугольники) и сбросами сточных вод (квадраты);
 б – посты гидрохимического мониторинга Росгидромета

Начальные условия в гидрохимической подмодели по концентрации металлов (меди, цинка и марганца) в почвах водосбора НКВ задавались на основе приведенных в атласе [Атлас ..., 2005] карт содержания микроэлементов в пахотном слое почв на территории Республики Башкортостан, которая занимает основную часть водосбора, с привлечением аналогичных данных по сопредельным административным единицам. Концентрации металлов в атмосферных осадках и напорных грунтовых водах, осуществляющих подпитку верховодки в зоне аэрации почвогрунтов, задавались постоянными значениями на основе средневзвешенных концентраций, приведенных в [Абдрахманов и др., 2007; Тенденции ..., 2017]. В качестве информации о точечных антропогенных источниках загрязнения речных вод задавались данные о сбросах металлов со сточными водами в 12 крупных населенных пунктах в бассейне р. Белой (рис. 2.29а) на основе форм статистической отчетности 2–ТП (водхоз) за период 2002–2007 гг. Для проверки гидрохимической подмодели использовались данные о динамике содержания металлов в речных водах на постах мониторинга р. Белой и ее притоков (рис. 2.29б), полученные службами Росгидромета за период 2002–2007 гг.: на 35 постах для меди и цинка и 26 постах для марганца.

Параметры модели. Задание большей части физически обоснованных параметров модели проводилось с использованием ИМК ЕСОМАГ на основе глобальных баз картографических данных региона (характеристик почв, растительности и ландшафтов). Часть параметров гидрологического блока модели подбиралась в процессе калибровки по отклонениям рассчитанных и фактических суточных гидрографов стока на гидропостах. Значения параметров гидрохимической подмодели, начальные значения которых задавались по [Абдрахманов и др., 2007; Тенденции ..., 2017; Sauve et al.,

2003], калибровались и уточнялись по данным о динамике концентраций меди, цинка и марганца в речных водах в створах гидрохимического мониторинга.

Испытания модели. Результаты испытаний *гидрологического блока* модели путем сопоставления модельных и фактических гидрографов стока на пяти гидрологических постах в бассейне НКВ свидетельствуют (*табл. 2.5*) о хорошем соответствии рассчитанных и фактических данных по статистическим критериям. Дополнительные успешные испытания модели для участков речной сети, не освещенных гидрометрическими наблюдениями, проведены путем сопоставления рассчитанной карты среднемноголетних модулей стока с картой модулей, приведенной в [СН ..., 1972], построенной по фактическим данным [Мотовилов, Фащевская, 2018; Motovilov, Fashchevskaya, 2019].

Таблица 2.5

Значения критериев соответствия ежесуточного, месячного и квартального стока в бассейне Нижнекамского водохранилища

Водный объект, гидрометрический пост	Площадь водосбора, км ²	NS	R2	R2
		сутки	месяц	квартал
Нугушское водохранилище	2870	0,70	0,73	0,94
Павловское водохранилище	46500	0,82	0,87	0,91
р. Белая – г. Уфа	100000	0,91	0,96	0,97
р. Белая – г. Бирск	121000	0,88	0,91	0,98
Нижнекамское водохранилище	184400	0,81	0,88	0,93

Результаты испытаний *гидрохимического блока* модели оценивались путем сопоставления рассчитанных и измеренных концентраций металлов в различных створах речной сети с различным временным усреднением. Редкая частота измерений в створах гидрохимического мониторинга (как правило, 12 измерений в год), а также значительные погрешности определения концентраций ТМ в пробах воды (~50%) не позволяют в полной мере использовать традиционные статистические гидрологические критерии для сравнения результатов модельных расчетов внутригодового хода концентраций и эпизодических данных гидрохимических измерений [Moriassi et al., 2007]. Более надежно по таким данным могут быть определены осредненные за длительные периоды времени характеристики.

На *рис. 2.30a* приведены примеры сравнения результатов моделирования с данными измерений концентраций меди, цинка и марганца с суточным разрешением. На основании сравнения можно заключить, что в большинстве случаев величина расхождения между рассчитанными и фактическими

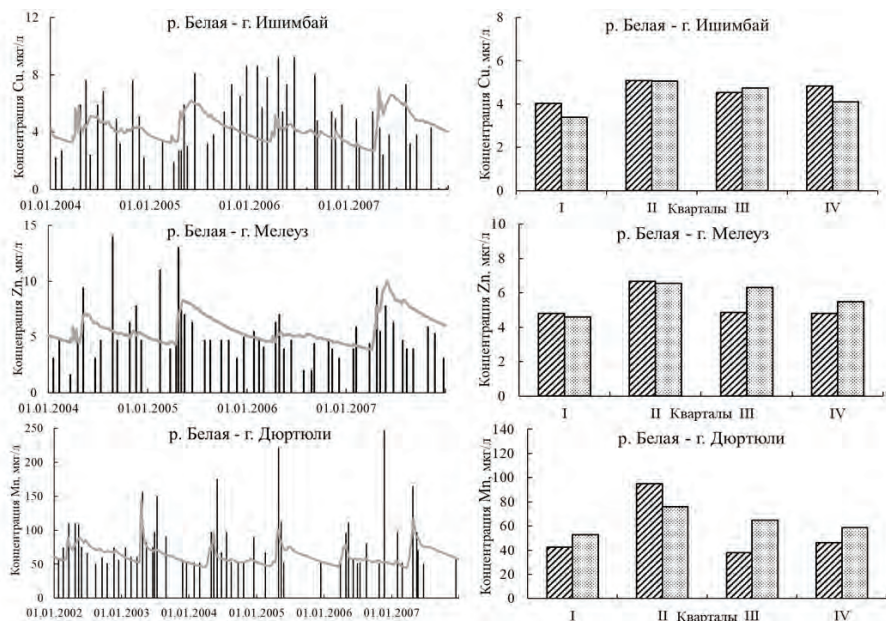


Рис. 2.30. Измеренные (диагонально заштрихованные и темные столбики) и рассчитанные (светлая штриховка и светлая линия) концентрации металлов в речной воде в створах гидрохимического мониторинга Росгидромета: а – динамика концентраций с суточным разрешением; б – среднееголетнее внутригодовое распределение концентраций по кварталам

значениями концентраций сопоставима с величиной погрешности их измерения.

На *рис. 2.30б* приведены примеры сравнения диаграмм внутригодового распределения концентраций металлов, осредненных за исследуемый период по кварталам. Анализ результатов показал, что для всех створов статистически значимые коэффициенты корреляции между рассчитанными и измеренными осредненными значениями концентраций металлов отмечаются: по меди – $R = 0,55$ только для второго квартала (периода весеннего половодья) с максимальными значениями концентраций; по цинку – $R = 0,50$ и $R = 0,69$ для второго и третьего кварталов соответственно; по марганцу – R варьирует в диапазоне $0,68$ (четвертый квартал) – $0,85$ (первый квартал).

Пространственные различия среднееголетних концентраций металлов в створах гидрохимического мониторинга показаны на *рис. 2.31* в порядке их расположения от верховий р. Белой в направлении к створу Нижнекамского гидроузла. Коэффициенты корреляции между рассчитанными и измеренными среднееголетними значениями концентраций составляют $0,58$ для меди, $0,60$ для цинка и $0,80$ для марганца, что свидетельствует об удовлетворительном воспроизведении моделью основных пространственно-временных закономерностей формирования стока металлов на территории бассейна и их содержания в речной сети [Moriasi et al., 2007].

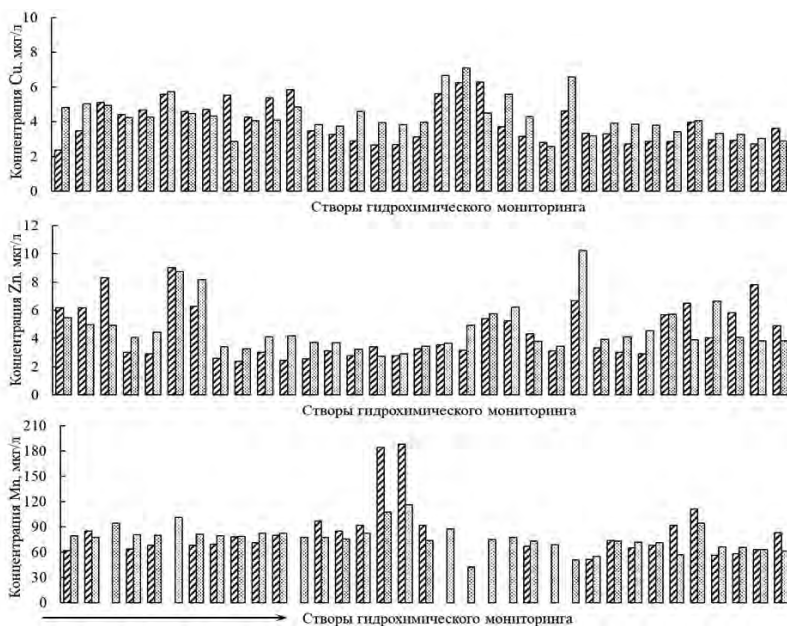


Рис. 2.31. Среднеголетние концентрации металлов в речной воде по данным измерений (диагонально заштрихованные) и рассчитанные (светлая штриховка) в створах гидрохимического мониторинга Росгидромета на р. Белой; стрелкой указано направление течения реки

2.2.2.4 Моделирование загрязнения тяжелыми металлами водотоков в бассейне НКВ

Возможности модельного подхода использованы для анализа пространственно-временных закономерностей формирования загрязнения водотоков ТМ. Для этого рассчитаны карты среднеголетних концентраций меди, цинка и марганца в речной сети; рассчитаны поля генетических составляющих диффузного стока металлов; выполнена оценка вклада точечных и диффузных источников в загрязнение речных вод; проведена серия численных экспериментов по увеличению количества металлов, сбрасываемых со сточными водами из точечных источников.

Картирование концентраций ТМ в речных водах

По результатам расчетов построены карты содержания меди, цинка и марганца в водотоках бассейна НКВ, в том числе на участках, не охваченных гидрохимическими наблюдениями (рис. 2.32). На картах показано распределение среднеголетних концентраций, полученных в результате осреднения ежедневных их значений в элементах модельной речной сети. Толщина линии указывает на величину концентрации металлов в речной сети в соответствии с легендой.

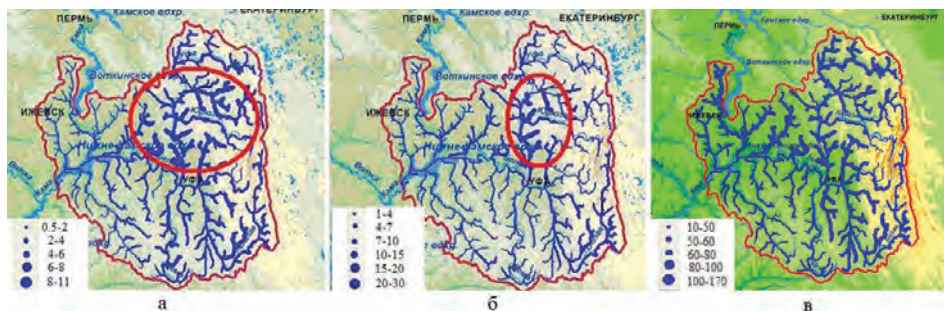


Рис. 2.32. Распределение рассчитанных среднегоголетних концентраций меди (а), цинка (б) и марганца (в) в речных водах в бассейне НКВ, мкг/л.

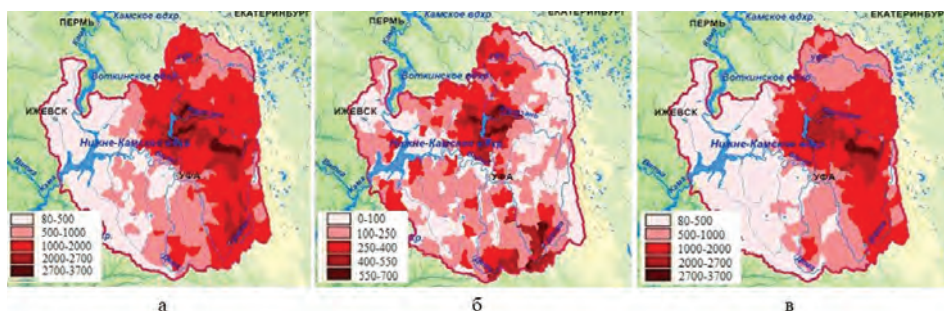


Рис. 2.33. Рассчитанные значения среднегоголетнего модуля стока меди в бассейне НКВ за период 2004–2007 гг., г/(год·км²): а – суммарного, б – поверхностного, в – почвенно-грунтового стока

Результаты картирования показывают, что на большей части бассейна НКВ среднегоголетнее содержание меди в речной сети превышает ПДК для водных объектов рыбохозяйственного водопользования (1 мкг/л), среднегоголетнее содержание цинка на большинстве водотоков – ниже ПДК (10 мкг/л), а водотоки со среднегоголетним содержанием марганца ниже уровня ПДК (10 мкг/л) на исследуемой территории отсутствуют. Об этом же свидетельствуют и рассчитанные по данным измерений на постах Росгидромета среднегоголетние концентрации металлов в речной сети, которые составляют 3,9 мкг/л (~4 ПДК) для меди, 4,7 мкг/л (~0.5 ПДК) для цинка, 83 мкг/л (8,3 ПДК) для марганца.

На построенных картах выявлены локальные участки водосбора, не охваченные гидрохимическими наблюдениями, со значительным уровнем загрязнения речных вод медью и цинком. Например, на малых реках, впадающих в реки Ай, Юрюзань и Уфа в нижнем течении (выделены овалами на рис. 2.32а,б), среднегоголетние концентрации металлов превышают аналогичные осредненные по бассейну НКВ на постах Росгидромета до 6 раз.

На построенных картах также видно, что значительное загрязнение речных вод марганцем на водосборе НКВ распространено повсеместно. Мо-

дельные среднесуточные концентрации марганца на таких загрязненных участках превышают осредненные по постам Росгидромета в два раза. По данным гидрохимического мониторинга марганца в речной сети лишь на одном посту из 26 отмечается подобное среднесуточное значение концентрации 186 мкг/л на р. Уршак, впадающей в р. Белую в среднем ее течении (рис. 2.31).

Сопоставление карт пространственного распределения содержания металлов в речной сети указывает на его связь с содержанием металлов в почвах [Атлас ..., 2005].

Моделирование полей генетических составляющих диффузного стока ТМ

На основе разработанной модели определены различные генетические составляющие диффузного стока металлов с водосбора НКВ. Для этого по ежедневным полям метеорологических характеристик для всех расчетных элементарных водосборов выполнены расчеты выноса металлов в локальную речную сеть поверхностным, почвенно-грунтовым и суммарным стоком. При осреднении значений ежедневных полей стока металлов за многолетний период получены карты полей среднесуточных модулей поверхностного, почвенно-грунтового и суммарного стока меди, цинка и марганца в речную сеть (рис. 2.33–2.35).

Карты демонстрируют пространственное распределение различных генетических составляющих диффузного стока металлов в бассейне НКВ. Сравнение карт модулей суммарного (рис. 2.33а, 2.34а, 2.35а) и почвенно-грунтового (рис. 2.33в, 2.34в, 2.35в) стока показывает тесную их корреляцию с пространственным распределением содержания металлов в почвогрунтах. Об этом свидетельствуют повышенные значения модулей стока меди и марганца в восточной и северо-восточной частях бассейна НКВ, максимальные значения модулей стока цинка и марганца к северу от г. Уфы. Пониженные значения модулей поверхностного стока металлов (рис. 2.33б,

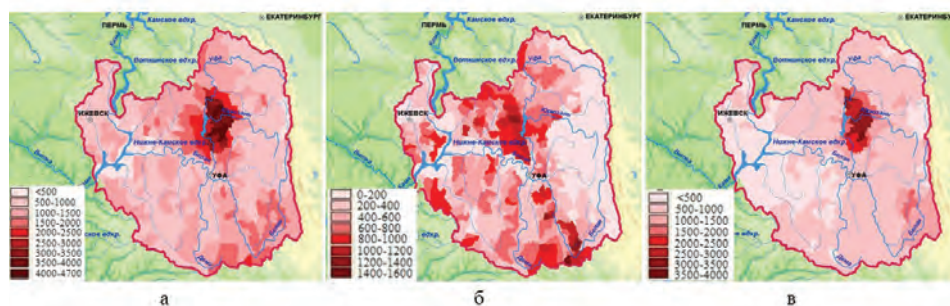


Рис. 2.34. Рассчитанные значения среднесуточного модуля стока цинка в бассейне НКВ за период 2004–2007 гг., г/(год·км²): а – суммарного, б – поверхностного, в – почвенно-грунтового стока

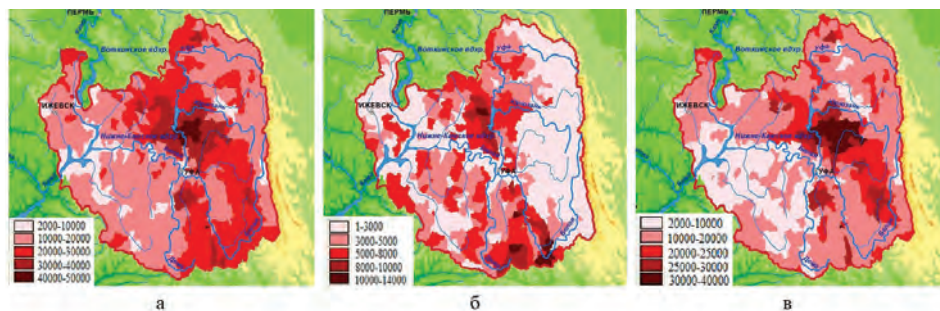


Рис. 2.35. Рассчитанные значения среднегогодового модуля стока марганца в бассейне НКВ за период 2002–2007 гг., г/(год·км²): а – суммарного, б – поверхностного, в – почвенно-грунтового стока

2.34б, 2.35б) в восточной части бассейна обусловлены повышенной проницаемостью почв в предгорьях Южного Урала, а также отмечаются по долинам рек на почвах более легкого механического состава.

При сравнении модулей поверхностного и почвенно-грунтового стока видно (рис. 2.33б,в, 2.34б,в, 2.35б,в), что на большей части бассейна сток меди, цинка и марганца в речную сеть формируется главным образом за счет почвенно-грунтовой составляющей. Доля стока металлов поверхностными водами на большей части водосбора не превышает и половины стока металлов почвенно-грунтовыми водами, за исключением западной части бассейна, где величины модулей поверхностного стока металлов сопоставимы или несколько превышают их вымывание подповерхностным стоком.

Оценка вклада точечных и диффузных источников в загрязнение речных вод

На основе модельных балансовых расчетов выполнена оценка вклада точечных (контролируемых выпусков сточных вод) и диффузных источников в загрязнение речных вод. В качестве информации о точечных источниках задавались данные о сбросах металлов со сточными водами на основе форм статистической отчетности 2–ТП (водхоз). Результаты балансовых расчетов приведены в табл. 2.6 и на рис. 2.36. Фактический сток металлов с водосбора в НКВ (табл. 2.6) оценивался путем умножения наблюдаемого годового притока воды в водохранилище на измеренную среднегодовую концентрацию металла в последнем створе гидрохимического мониторинга на р. Белой перед ее впадением в НКВ (створ Дюртюли).

Сопоставление расчетного и фактического стока металлов в НКВ показывает удовлетворительное воспроизведение его межгодовой динамики (рис. 2.36б). Различия между сравниваемыми величинами обусловлены большими погрешностями при определении концентрации металлов в речной воде.

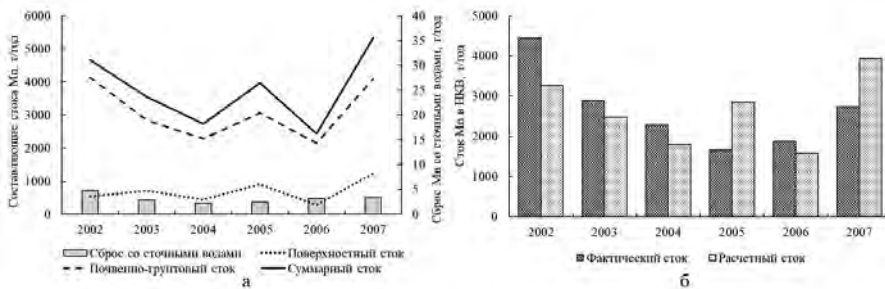


Рис. 2.36. Рассчитанные значения генетических составляющих и суммарного стока марганца (а); сопоставление фактических и рассчитанных значений стока марганца, после осаждения его части в речное русло, в НКВ (б)

Таблица 2.6

Рассчитанные значения различных генетических составляющих стока металлов и его фактические значения с водосбора НКВ за многолетний период, т/год

Металл	Диффузный сток с водосбора в речную сеть		Сброс в реки со сточными водами	Оседание с наносами на речное дно	Сток металлов в НКВ	
	поверхностный сток	почвенно-грунтовый сток			расчетный	фактический
Cu	40,3	174,3	2,3	99	118	119
Zn	35,8	197,5	8,9	144,3	98	114,5
Mn	685	3093	3,2	1134	2651	2651

Модельные балансовые расчеты показывают (рис. 2.37), что суммарный сток металлов в водотоки на водосборе НКВ на ~80–82% формируется за счет их вымывания из почвенно-грунтовой толщи. За счет поверхностного смыва формируется ~19% стока меди, ~15% стока цинка и ~18% стока марганца. Доли ТМ, поступающих в речную сеть со сбросами сточных вод, невелики и составляют ~1% суммарного стока меди, ~4% стока цинка и ~0,1%

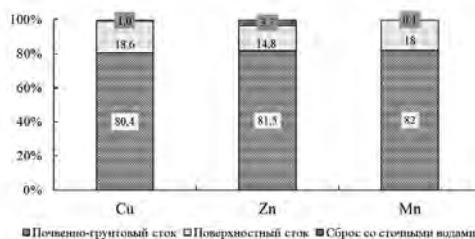


Рис. 2.37. Соотношение различных генетических составляющих стока металлов с водосбора в НКВ

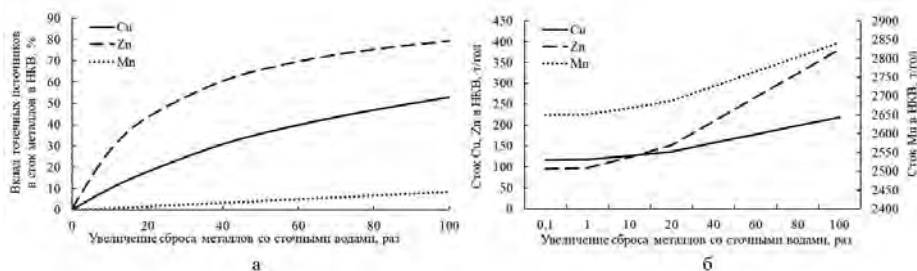


Рис. 2.38. Динамика показателей антропогенного воздействия на НКВ при изменении содержания Cu, Zn и Mn в сбрасываемых сточных водах по сравнению с существующим уровнем, принятым за 1: а – доля точечных источников в стоке металлов, б – сток металлов в водохранилище

стока марганца. Значительная доля металлов, вымываемых с водосбора, аккумулируется с наносами в донных отложениях: в среднем ~45% меди, 60% цинка и 30% марганца.

Моделирование сценариев увеличения количества сбрасываемых со сточными водами металлов

Рассматривались сценарии увеличения сбрасываемых в составе сточных вод металлов в 10, 20, 40, 60, 80 и 100 раз относительно существующего уровня (представленного в формах 2–ТП (водхоз)) в 12 населенных пунктах. В действительности такое увеличение может происходить из-за роста промышленного производства или, в некоторых случаях, в результате более объективного и корректного представления информации в отчетных формах 2–ТП (водхоз) о количестве ЗВ, сбрасываемых водопользователями со сточными водами.

Расчеты показали, что при увеличении содержания металлов в сточных водах вклад точечных источников в загрязнение НКВ повышается: медью и цинком значительно, марганцем незначительно (рис. 2.38а). Так, при увеличении содержания металлов в сточных водах в 20 раз вклад точечных источников составляет по меди ~20%, по цинку 44% и по марганцу 1,7%. При увеличении содержания в сточных водах металлов в 100 раз вклад точечных источников достигает ~53% по меди, 80% по цинку и лишь ~8% по марганцу.

Увеличение содержания в сбрасываемых сточных водах металлов приводит и к увеличению их выноса речными водами в водохранилище (рис. 2.38б). Так, при увеличении сбросов металлов в 100 раз вынос в НКВ меди увеличивается в ~2 раза, вынос цинка в ~4 раза, вынос марганца в 1,1 раза.

Таким образом, исследованы пространственно-временные закономерности формирования загрязнения медью, цинком и марганцем водотоков в бассейне НКВ с использованием программного комплекса ECOMAG–

НМ. Результаты расчетов, сопоставленные с данными гидрологических и гидрохимических наблюдений, показали хорошее соответствие рассчитанных и фактических характеристик водного стока и удовлетворительное соответствие характеристик качества воды: концентраций и химического стока металлов.

По результатам моделирования построены карты среднесуточных концентраций меди, цинка и марганца в речной сети. Установлено, что на территории всего бассейна содержание марганца в речных водах превышает ПДК, на большей части бассейна содержание меди выше ПДК, цинка – ниже ПДК. Выявлены участки водосбора, не охваченные гидрохимическими наблюдениями Росгидромета, со значительным уровнем загрязнения рек, концентрации меди и цинка в которых превышают среднесуточные значения по бассейну НКВ до шести раз, концентрации марганца – до двух раз.

Выполнены расчеты и построены карты среднесуточных модулей диффузного стока металлов с водосбора НКВ. Установлено пространственное распределение различных генетических составляющих диффузного стока.

Проведена оценка вклада природных и антропогенных составляющих гидрохимического стока металлов. Балансовые расчеты показали, что за счет вымывания металлов из почвенно-грунтовой толщи формируется ~80% суммарного стока металлов, за счет поверхностного смыва – до 20%. Около половины вымываемых с водосбора металлов аккумулируется в донных отложениях с наносами. Доли ТМ, поступающих в речную сеть со сбросами сточных вод, невелики: не больше 4% стока ТМ в НКВ. Показано, что погрешности данных, предоставляемых в отчетных формах 2–ТП (водхоз), могут существенно влиять на количественную оценку соотношения вклада точечных/диффузных источников в загрязнение природных вод.

2.2.3 Загрязнение нефтепродуктами участка Волги в районе Бурнаковской низины

Согласно анализу Института статистических исследований и экономики знаний НИУ «Высшая школа экономики»⁷, в числе наиболее ощутимых угроз для России выделяется рост накопленного экологического ущерба – прямого результата продолжающегося игнорирования вопросов диффузного загрязнения окружающей среды. Характерным примером является Бурнаковская низина, расположенная в северо-западной части г. Нижнего Новгорода на правобережной пойме р. Волги в четырех километрах выше

⁷ См.: Глобальные тренды и перспективы научно-технологического развития Российской Федерации. Краткие тезисы к XVIII Апрельской международной научной конференции по проблемам развития экономики и общества 11–14 апреля 2017 г. НИУ «Высшая школа экономики».



Рис. 2.39. Бурнаковская Низина (г. Нижний Новгород)

впадения в нее р. Оки. Площадь рассматриваемой территории составляет более 400 га, протяженность вдоль берега – около 2,5 км (рис. 2.39).

Поверхность низины занята озерами и торфяными болотами, чередующимися с песчаными гривами, направленными параллельно берегу р. Волги.

В геологическом отношении верхний от поверхности слой почво-грунтов общей мощностью 20–25 м представлен аллювиальными отложениями: мелкозернистыми песками вверху, средне- и крупнозернистыми с наличием гравия, гальки и отдельных валунов – в нижней части, ближе к подошве, подстилаемой пермскими глинами.

Местами, на освоенных и осваиваемых под строительство территориях, верхняя часть разреза состоит из насыпных техногенных отложений, представленных грунтами различного состава (свалочные грунты, отвалы строительного мусора, песок мелкий с включениями битого кирпича и т.д.), происхождения (техногенные грунты или естественные аллювиальные отложения, перемещенные с других территорий Бурнаковской низины) и мощности (от 0,5 до 6 м).

Грунтовые воды залегают неглубоко, от 1,0 до 8,0 м от поверхности. Коэффициенты фильтрации, по данным инженерно-геологических изысканий для отдельных участков низины, проведенных институтом «Теплоэлектропроект» в 1970 г., изменяются от 12,7 м/сут для мелкозернистых до 25,3 м/сут – для крупнозернистых песков. Грунтовый поток направлен на север, северо-восток – к р. Волге. Мощность обводненных отложений колеблется в пределах 14,5–20,0 м. Питание этого аллювиального водоносного горизонта, который является основным и единственным, пригодным для хозяйственно-питьевого водоснабжения, осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков.

Основной группой почв изучаемой территории являются интразональные аллювиальные (пойменные) почвы, которые относятся к стволу синли-

тогенных почв. Отличительной их особенностью является периодическое затопление паводковыми водами, не обязательно ежегодное, но сопровождающееся привносом и отложением на поверхности почвы нового минерального материала.

Климат района исследования умеренно континентальный. Средняя годовая температура воздуха за многолетний период (1989–2018 гг.) составила $+4,1^{\circ}\text{C}$, изменяясь от года к году от $+3,5$ до $+6,5^{\circ}\text{C}$. Температура наиболее теплого месяца (июль) составляет в среднем $+18,9^{\circ}\text{C}$, а наиболее холодного (январь) $-10,7^{\circ}\text{C}$. Атмосферных осадков выпадает в среднем 675 мм в год. В отдельные годы их количество меняется от 480 до 830 мм. Треть годовой суммы осадков приходится на летние месяцы. Наименьшее их количество отмечается весной (менее 20% годовой суммы).

Режим Волги в этом районе зарегулирован двумя водохранилищами, расположенными выше (Горьковское) и ниже (Чебоксарское) по течению. Выше исследуемого участка в р. Волгу впадает р. Левинка. На территории Бурнаковской низины расположены многочисленные естественные и искусственные водоемы, большинство из которых временно или постоянно соединены между собой (рис. 2.40а).

Цифрами на рис. обозначены:

- 1 – сбросной канал Сормовской ТЭЦ;
- 2 – водоотводящая канава;
- 3 – обводненный карьер;
- 4 – водоемы, образующиеся от таяния складированного снега;
- 5 – озера Бурнаковской низины;
- 6 – водохранилище;
- 7 – нефтешламохранилища.

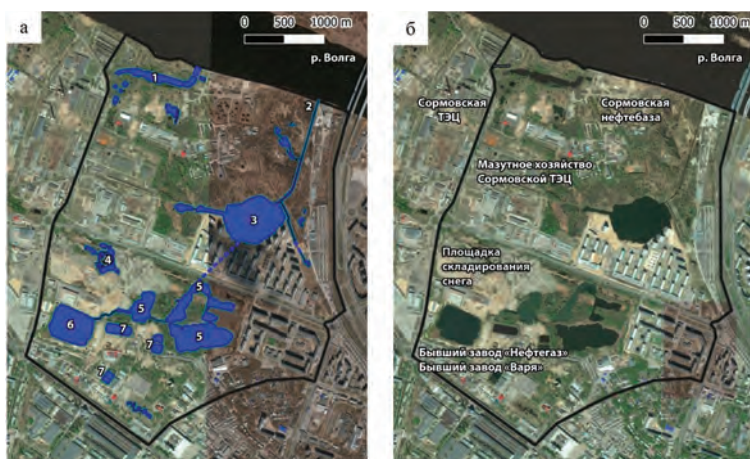


Рис. 2.40. Водные объекты (а) и источники загрязнения (б) Бурнаковской низины

На протяжении многих лет на участке р. Волги в районе Бурнаковской низины обращало на себя внимание образование на поверхности воды нефтяных пятен. В связи с этим неоднократно выполнялись исследования этой территории на содержание нефтепродуктов. Наиболее активно они начали проводиться в конце 1980-х гг. Многочисленными исследованиями, выполненными в период с 1989 по 2014 гг. Горьковской комплексной гидрогеологической и инженерно-геологической партией, ООО «АСТКОМ», ЗАО «Т-ПАРК», ООО «Инженерный консалтинговый центр «Промтехбезопасность»» и др., было установлено, что загрязнение вод р. Волги обусловлено многолетней хозяйственной деятельностью различных предприятий, расположенных на территории Бурнаковской низины. Основными источниками загрязнения исследуемой территории в прошлом в разное время являлись Сормовская нефтебаза, Горьковский нефтемаслозавод, завод «Нефтегаз», ООО «Нефтемаслозавод Варя» и др. (рис. 2.40б). Их деятельность была связана с хранением, переработкой и транспортировкой нефтепродуктов. Нефтешламы, образовавшиеся в процессе этой деятельности, сливались в искусственно созданные водоемы и выемки в грунте, а также в озера. Кроме того, для борьбы с личинками малярийного комара производилось нефтевание водоемов. Все это привело к существенному загрязнению нефтепродуктами почв, грунтовых вод, поверхностных водных объектов и их донных отложений, являющихся, в свою очередь, источником вторичного загрязнения р. Волги, которое носит неконтролируемый диффузный характер.

В 2019 г. Институтом водных проблем РАН совместно с ООО «Инженерное дело» было проведено изучение загрязненности территории Бурнаковской низины, источников загрязнения р. Волги нефтепродуктами и путей миграции ЗВ [Обязов и др., 2020]. Исследования показали, что почвы и поверхностный слой грунта Бурнаковской низины загрязнены нефтепродуктами преимущественно в районе бывшей Сормовской нефтебазы и в зоне, прилегающей к сбросному каналу Сормовской ТЭЦ, а также на территории бывшего завода «Нефтегаз» (рис. 2.41а).

Концентрация нефтепродуктов в этих местах достигает 1200–1300 мг/кг. Количество участков с их содержанием ниже фоновых значений, принятых для г. Нижнего Новгорода на уровне 67,0 мг/кг, по данным Верхне-Волжского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды в 2014 г., составило всего 13 из 52 обследованных. В 56% проб фоновая величина превышена в 3 и более раз.

Анализ распределения нефтепродуктов на разных глубинах показал еще большую величину загрязнения грунтов на территории бывшей Сормовской нефтебазы. Их содержание на глубине до 14 м достигает концентраций, превышающих 2000 мг/кг. Максимальная концентрация нефтепродуктов в грунте была зафиксирована на глубине 2–4 м и составила 3300 мг/кг. Наряду с этим, в четырех из семи пробуренных скважин, три из которых были заложены за пределами нефтебазы и одна – на ее южной границе, содержание нефтепродуктов не превысило 400 мг/кг.

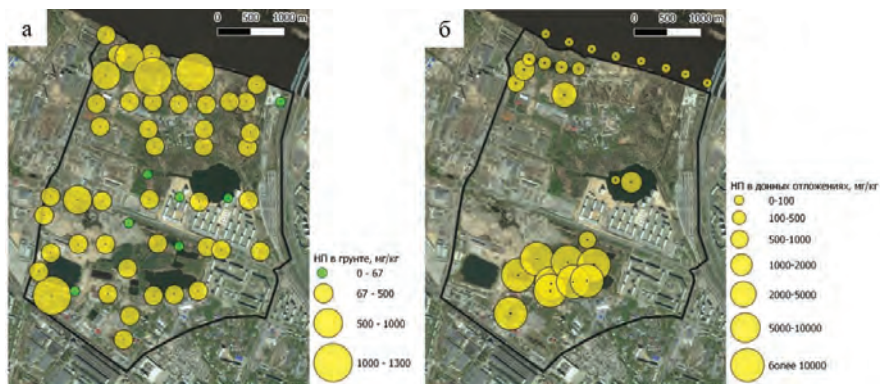


Рис. 2.41. Пространственное распределение содержания нефтепродуктов в почвогрунтах (а) и донных отложениях (б)

Исследованием установлено, что почвы Бурнаковской низины загрязнены не только нефтепродуктами, а также бенз(а)пиреном и тяжелыми металлами (Zn, Cd, Ni). Содержание бенз(а)пирена превышает ПДК на отдельных участках в 1,5–2,5 раза. Наибольшее содержание Zn, составившее 200 мг/кг, отмечено в пробе, отобранной на территории бывшего завода «Нефтегаз». Несколько меньшее его значение (120 мг/кг) зарегистрировано на южном побережье озер Бурнаковской низины. В этих же точках, а также на левом берегу сбросного канала выявлено наиболее высокое содержание Ni, составившее 35–39 мг/кг. Cd в почвах пространственно распределен более равномерно.

Характерной особенностью распределения нефтепродуктов в донных отложениях являются чрезвычайно высокие их концентрации в водных объектах южной части исследуемой территории. В 9 пробах из 10 они превысили 20000 мг/кг (рис. 2.41б).

Это преимущественно искусственные водоемы (шламохранилища) и озера Бурнаковской низины. Такая высокая степень их загрязнения обусловлена тем, что в эти водоемы в середине прошлого века сливались отходы нефтеперерабатывающей промышленности.

Однако высокая степень загрязнения нефтепродуктами территории Бурнаковской низины обусловлена не только прошлой, но и современной хозяйственной деятельностью. Так, при обследовании территории выявлено несколько мест слива нефтепродуктов (нефтешлама) непосредственно на рельеф. Еще одним источником современного загрязнения является складирование снега, убираемого с улиц Нижнего Новгорода.

Наличие в грунтах и донных отложениях высоких концентраций нефтепродуктов определили их повышенное содержание в подземных и поверхностных водах (рис. 2.42). В подавляющем большинстве отобранных проб грунтовых вод содержание нефтепродуктов превысило ПДК для питьевых вод. Наиболее загрязненные воды приурочены к участкам, расположен-

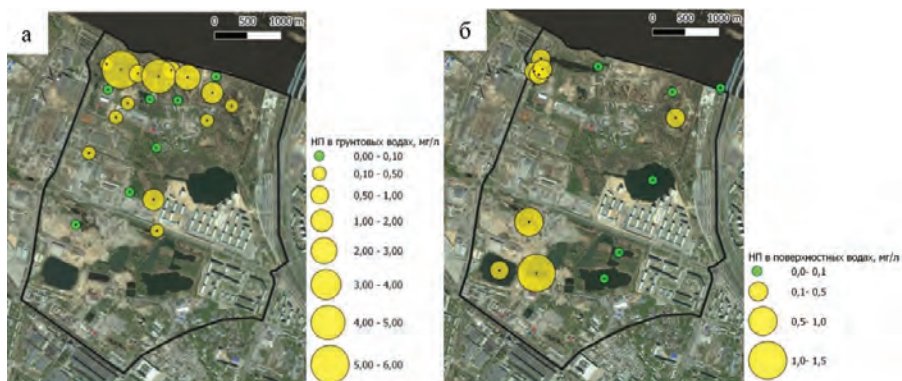


Рис. 2.42. Пространственное распределение содержания нефтепродуктов в грунтовых (а) и поверхностных (б) водах

ным на территории бывшей нефтебазы и в зоне, прилегающей к сбросному каналу Сормовской ТЭЦ (более 1 мг/л). Загрязнение поверхностных вод имеет более пестрый характер. В большей степени загрязнены нефтепродуктами воды шламонакопителя бывшего завода «Нефтегаз» и водоемы, образовавшиеся от таяния складированного снега. Содержание нефтепродуктов в шламонакопителе превышает ПДК для питьевых вод в 11 раз, а в талых водах – более чем в 9 раз. Кроме того, превышения предельно допустимой концентрации нефтепродуктов зафиксированы в водах сбросного канала и прилегающих к нему малых водоемах, а также в двух водоемах, расположенных на юго-востоке и северо-западе территории исследования.

Загрязненные воды поступают в Волгу подземным и поверхностным путем. Грунтовые воды выклиниваются в реку как в надводной, так и в подводной части русла. Неоднократно отмечалось просачивание нефтепродуктов на береговых откосах выше уреза воды. Выходы грунтовых вод, загрязненных нефтепродуктами, под водой идентифицируются радужными пятнами на ее поверхности от всплывающих капель (рис. 2.43).

Поверхностный сток из большинства водоемов Бурнаковской низины осуществляется в р. Волгу посредством водоотводящей канавы. Кроме того, на территории низины расположен сбросной канал Сормовской ТЭЦ, вода из которого также поступает в Волгу через закрытый глубинный водовыпуск. На поверхности воды в сбросном канале практически постоянно фиксируется нефтяная пленка, а периодически – отложения нефтепродуктов на берегах и водной растительности (рис. 2.44). Высачивание нефтепродуктов из грунтов береговых откосов было замечено еще в начале 1970-х гг. до заполнения его водой и ввода в эксплуатацию Сормовской ТЭЦ. Однако не исключено попадание нефтепродуктов в канал и другими путями.

Образование нефтяной пленки на поверхности р. Волги происходит до сих пор. В ее водах в период обследования содержание нефтепродуктов



Рис. 2.43. Поступление нефтепродуктов в р. Волгу с грунтовыми водами, выклинивающимися в подводной части русла (26 марта 2020 г.)



Рис. 2.44. Следы нефтепродуктов на водной растительности и берегоукрепительных сооружениях сбросного канала Сормовской ТЭЦ (26 марта 2020 г.)

чаще всего превышало ПДК, которые для рыбохозяйственных водоемов установлены в размере $0,05 \text{ мг/дм}^3$. В апреле 2019 г. в фоновом створе оно составило $0,033 \text{ мг/дм}^3$, а ниже по течению от Бурнаковской низины – $0,096 \text{ мг/дм}^3$, т.е. почти в два раза превысило ПДК. В июле 2019 г. в этих же створах картина поменялась на обратную: в фоновом створе содержание нефтепродуктов превысило ПДК ($0,068 \text{ мг/дм}^3$), в то время как ниже по течению они не были обнаружены ($< 0,005 \text{ мг/дм}^3$). Более детальный отбор проб был произведен в марте 2020 г. В пробе, отобранной выше устья р. Левинки (около 500 м выше по течению от границы территории исследования), содержание нефтепродуктов составило $0,073 \text{ мг/дм}^3$. На границе территории исследования оно увеличилось в два раза ($0,15 \text{ мг/дм}^3$). Максимальной концентрации нефтепродукты достигли ниже устья сбросного канала Сормовской ТЭЦ ($0,21 \text{ мг/дм}^3$). Ниже по течению от Бурнаковской низины произошло ее понижение до $0,13 \text{ мг/дм}^3$.

Таким образом, фиксируемое поступление нефтепродуктов в р. Волгу происходит преимущественно за счет вымывания их из грунта, загрязнявшимся на протяжении нескольких десятилетий ныне не действующими предприятиями, осуществлявшими деятельность по переработке, транспортированию и хранению нефтепродуктов. Современная деятельность в Бурнаковской низине, включая в первую очередь складирование снега, убираемого с улиц города, также вносит существенный вклад в загрязнение природных сред территории и, соответственно, р. Волги.

Кроме того, нефтепродукты, захороненные в чрезвычайно больших концентрациях в донных отложениях водных объектов, в случае преднамерен-



Рис. 2.45. Схема мероприятий по рекультивации Бурнаковской низины

ного или непреднамеренного вмешательства, обуславливающего их переход в поверхностные воды, также поступят в Волгу.

С целью прекращения поступления в воды р. Волги ЗВ диффузного происхождения, среди которых присутствуют не только нефтяные вещества, но и тяжелые металлы, требуется провести санацию территории Бурнаковской низины. Для этого необходимы разработка специальной программы и выполнение комплекса природоохранных мероприятий (рис. 2.45), направленных на:

1) снижение концентраций ЗВ (в первую очередь нефтепродуктов) в почвогрунтах, грунтовых и поверхностных водах и донных отложениях;

2) предотвращение современного поступления ЗВ в результате складирования снега, размещения несанкционированных свалок, слива нефтепродуктов и захоронения нефтешлама.

Следует также предусмотреть ряд административных мероприятий, направленных на ограничение права использования обозначенных территорий, что позволит избежать постоянного расширяющегося воздействия новых поступлений загрязнений.

Таблица 2.7

Целевые показатели эффективности природоохранных мероприятий

№	Наименование показателя	Текущее значение	Значение целевого показателя
1	Концентрация нефтепродуктов в грунте	до 3300 мг/кг	300 мг/кг
2	Концентрация нефтепродуктов в грунтовых водах	до 39 мг/дм ³	0,1 мг/дм ³
3	Концентрация нефтепродуктов в поверхностных водах	до 1,1 мг/дм ³	0,1 мг/дм ³
4	Концентрация нефтепродуктов в донных отложениях	>20 000 мг/кг	300 мг/кг

В качестве целевых показателей эффективности такого рода программы можно предложить значения, представленные в табл. 2.7. По предварительным оценкам, для их достижения на реализацию программы потребуется около 700 млн руб.

2.2.4 Биогенное загрязнение малых рек водосбора Чебоксарского водохранилища

2.2.4.1 Краткая характеристика природно-хозяйственных условий

Водосборы водных объектов – рек Кудьмы, Линды и Узолы – расположены в Нижегородской области РФ, на левом и правом берегах Чебоксарского водохранилища (рис. 2.46), находятся в пределах южной части лесной зоны Европейской территории России [Зоны..., 1999]. Водосборы различаются

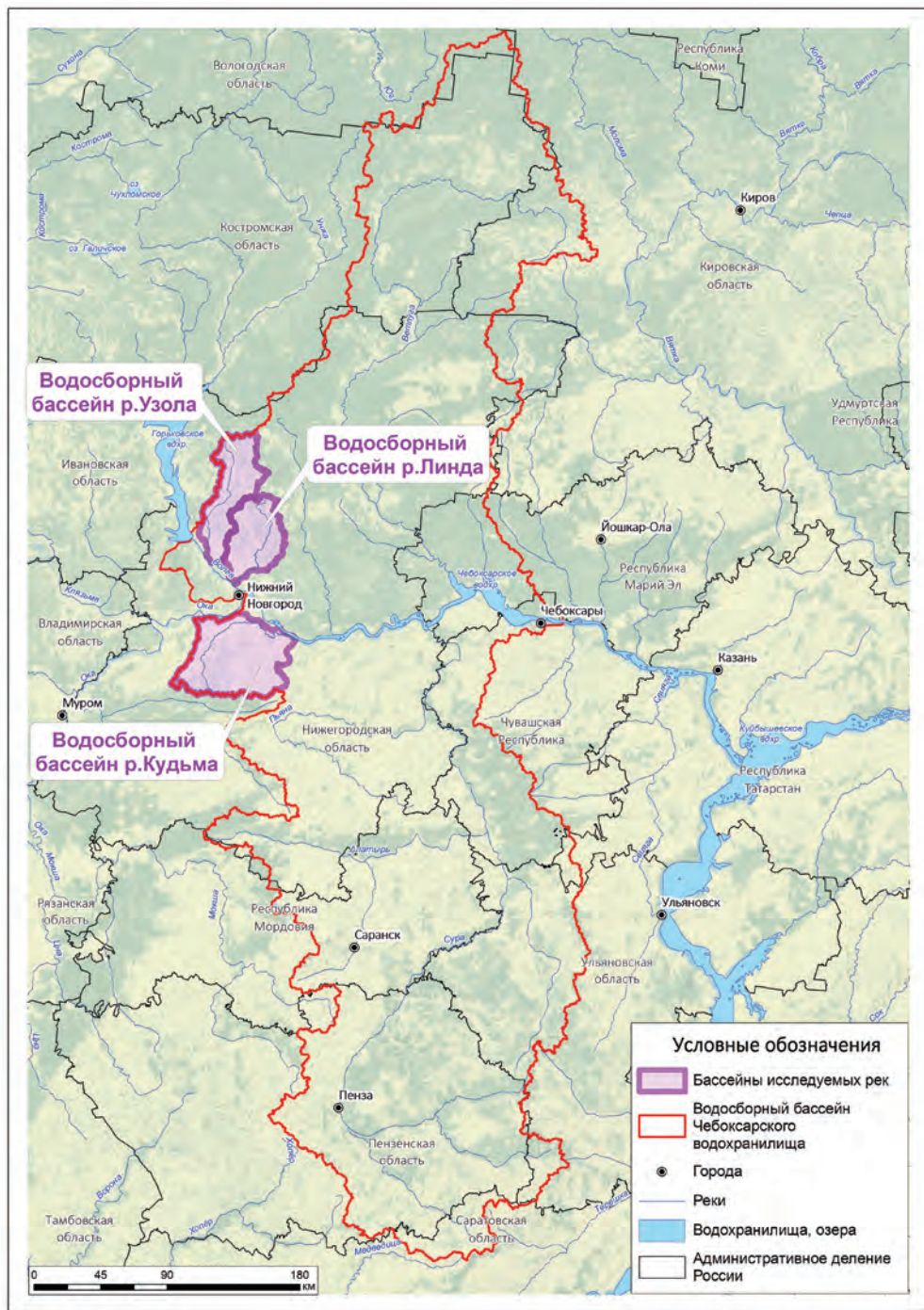


Рис. 2.46. Расположение водосборов малых рек Кудьмы, Линды и Узолы в бассейне Чебоксарского водохранилища

как по степени заселенности, уровню промышленного и сельскохозяйственного освоения, так и по своим локальным физико-географическим характеристикам (геологическим, почвенным и растительным), что определяет значительные отличия в формировании речного стока. Ландшафтная структура водосборов в значительной степени отражает различные природные условия и особенности антропогенной нагрузки на левом и правом берегах Чебоксарского водохранилища.

Река Кудьма. Бассейн расположен в северо-западной части Приволжской возвышенности, на правом берегу Чебоксарского водохранилища. Площадь водосбора – 3250 км², длина реки – 157 км. Поверхность сильно расчленена густой сетью долин. На 46% площади водосбора развиты карстовые процессы. В почвенном покрове преобладают оподзоленные суглинки и серые лесные глинистые и среднесуглинистые почвы [Единый..., 2014]. Растительный покров водосбора – сильно измененная хозяйственной деятельностью человека дубравная, степная и боровая растительность. Информация о структуре угодий водосборов получена при обработке крупномасштабных карт и космических снимков высокого разрешения (до 10 м) с использованием геоинформационной системы типа ArcGIS [Геопортал..., 2020]. Выделены следующие угодья: пахотные земли, сельскохозяйственные земли с уплотненной (нераспаханной с осени) почвой, лес, неканализованная застройка (сельские поселения), территории с высокой долей непроницаемых поверхностей (промышленные площадки и многоэтажная застройка), овражно-балочная сеть. Структура земель водосбора р. Кудьмы представлена в табл. 2.8.

Таблица 2.8

Ландшафтная структура пилотных водосборов по съемке Landsat8 (Геопортал..., 2020)

Водосбор реки	Площадь водосбора, км ²	Угодье, %					
		Пахотные земли	Сельскохозяйственные земли с уплотненной (нераспаханной с осени) почвой	Лес	Неканализованная застройка (сельские населенные пункты)	Территории с высокой долей непроницаемых поверхностей (промплощадки и многоэтажная застройка)	Овражно-балочная сеть
Кудьма	3250	27,8	14,2	34,9	7,4	1,1	14,6
Линда	1680	7,6	17,1	65,7	3,8	0,2	5,6
Узола	1920	21,8	6,9	62,0	3,4	0,5	5,4

Климат бассейна Кудьмы – умеренно-континентальный. Средняя годовая температура воздуха в бассейне составляет +4,7°C. Средняя январская температура воздуха –9,1°C, средняя июльская +19,4°C. Осадков за год выпадает 570 мм [Архив..., 2020; Массивы..., 2020]. На р. Кудьме действуют пункты гидрологического и гидрохимического мониторинга: р. Кудьма – п. Кстово (F = 1750 км²) – гидрологический и гидрохимический; р. Кудьма – д. Ефимьево (2 створа) – гидрохимический; р. Кудьма – п. Ленинская Слобода (F = 3220 км²) – гидрохимический [Автоматизированная..., 2020]. Сток воды за половодье (включая подземный) составляет около 40% от годового, около 70% годового питания реки приходится на подземные воды. Величины стока за год и половодье, полученные расчленением гидрографов стока рек пилотных водосборов за 2008–2018 гг., приведены в табл. 2.9.

Таблица 2.9

Среднемультилетний слой стока за год и половодье в 2008–2018 гг., мм [Автоматизированная..., 2020]

Река – створ	Годовой	Половодье	
		Всего	в том числе подземный
Кудьма – Кстово	129	50	10
Линда – Васильково	223	129	12
Узола – Держково	232	114	19

Воды бассейна Кудьмы из-за развития карста обладают повышенной минерализацией, особенно в периоды преимущественно грунтового питания (до 1000–1700 мг/л). В течение всего года сульфат-ионы преобладают над гидрокарбонат-ионами [Ресурсы..., 1973].

Крупнейшие населенные пункты на водосборе – Кстово (67723 чел. в 2017 г.), Богородск (33931 чел. в 2019 г.), поселок Дальнее Константиново (4133 чел. в 2017 г.) [Население..., 2020].

В бассейне Кудьмы развита промышленность в городских центрах – Кстово и Богородск. Основные направления сельскохозяйственного производства на водосборе – мясомолочное животноводство, элитное семеноводство, выращивание овощных культур и картофеля, зерна.

Река Линда. Расположена на Унженско-Ветлужской плоской равнине, на левом берегу Чебоксарского водохранилища. Длина реки – 238 км, берега крутые, обрывистые, площадь водосбора – 1680 км². Водосбор реки сложен преимущественно песчаными отложениями. Почвы дерново-сильнопodzольные, супесчаные, средне- и легкосуглинистые, в левобережной части бассейна встречаются песчаные и песчано-иловатые, а в приустьевой – аллювиально-луговые [Единый..., 2014]. Леса смешанные, елово-широколиственные. На водоразделах встречаются верховые сфагновые болота. Климат бассейна

Линды – умеренно-континентальный. Средняя годовая температура воздуха составляет $+4.5^{\circ}\text{C}$. Средняя январская температура воздуха -9.5°C , средняя июльская $+19.2^{\circ}\text{C}$. Осадков за год выпадает 650 мм. Имеется гидрологический пост – д. Васильково ($F = 1010 \text{ км}^2$). Около 60% стока проходит в половодье (включая подземный), около 50% годового питания реки – подземные воды.

Крупные населенные пункты: села Линда (5383 чел.) и Кантаурово (2169 чел.), пос. Железнодорожный (2332 чел.). Промышленность в бассейне слабо развита. Есть сельскохозяйственные предприятия и предприятия-лесозаготовители.

Река Узола. Расположена на левобережье Волги, в пределах южной части аллювиальной Унженско-Ветлужской равнины. Длина реки – 147 км, площадь водосбора – 1920 км². Слабоволнистая поверхность изрезана неглубокими балками и оврагами, местами пересечена небольшими дюнными всхолмлениями. Наиболее распространены подзолистые легкосуглинистые и супесчаные почвы, только в низовьях реки преобладают песчаные подзолы [Единый..., 2014]. Смешанные елово-лиственные леса образуют крупные массивы. Климат водосбора р. Узолы – умеренно-континентальный. Средняя годовая температура воздуха в бассейне составляет $+4,5^{\circ}\text{C}$. Средняя январская температура воздуха $-9,1^{\circ}\text{C}$, средняя июльская $+19,2^{\circ}\text{C}$. Осадков за год выпадает в среднем 650 мм. Гидрологический и гидрохимические режимы р. Узолы контролируются наблюдениями в створе р. Узола – д. Горбуново. Сток за половодье (включая подземный) составляет около 50% от годового стока, около 60% годового питания – подземные воды.

Крупный населенный пункт на водосборе – поселок Ковернино с населением 6869 чел.

Промышленность представлена в основном предприятиями пищевой, деревообрабатывающей и легкой отраслей. В общем объеме продукции сельскому хозяйству принадлежит 50–60%. В основном это предприятия по разведению племенного скота и свиней.

2.2.4.2 Количественная оценка диффузного загрязнения биогенными элементами

Для расчета среднего многолетнего объема стока биогенных элементов (БЭ) с водосборов малых рек и оценки вклада различных источников в биогенное загрязнение применялся ландшафтно-гидрологический метод (ЛГМ), разработанный в Институте географии РАН [Ясинский и др., 2007; Ясинский и др., 2019а; Ясинский и др., 2019б; Ясинский и др., 2020]. Описание метода дано в разд. 1.2.1.1.

Использовались данные Росгидромета [Автоматизированная..., 2020], Росстата, Агрохимслужбы, Единого Государственного реестра почвенных ресурсов России [Единый..., 2014], материалы водохозяйственной стати-

стики 2–ТП (водхоз) об учтенных (точечных) сбросах предприятий [Автоматизированная..., 2020], собственные полевые наблюдения ИГ РАН, литературные данные.

Концентрации БЭ в стоке оценивались в процессе собственных полевых работ и по литературным источникам. Содержание БЭ в твердом стоке определялось по данным Единого Государственного реестра почвенных ресурсов [Единый..., 2014].

Численность скота и сельскохозяйственной птицы на водосборах задавалась по данным Нижегородского Росстата и Всероссийской сельскохозяйственной переписи (2020 г.).

Предполагалось, что все население водосборов, учтенное в государственной статистике как городское, имеет доступ к центральной канализации и, следовательно, не является источником диффузного загрязнения. А сельские поселения пилотных водосборов не канализованы. Соответственно, отходы жизнедеятельности сельского населения, численность которого задается по данным государственной статистики [Население..., 2020], не поступают в систему канализации (и далее на очистные сооружения), а попадают через выгребные ямы в подземные воды, увеличивая диффузный вынос БЭ с подземным стоком с территории неканализованных населенных пунктов.

В табл. 2.10 приведены параметры прямой антропогенной нагрузки на пилотных водосборах, влияющие на формирование диффузного загрязнения БЭ. Значения антропогенной нагрузки рассчитывались по статистическим данным, отнесенным к административным районам Нижегородской области, расположенных непосредственно на водосборах малых рек [Население..., 2020; Всероссийская..., 2020].

Таблица 2.10

Основные параметры диффузной антропогенной нагрузки на пилотных водосборах бассейна Чебоксарского водохранилища

Фактор диффузной нагрузки	Водосбор		
	Кудьма	Линда	Узола
Сельское население неканализованных поселений, человек	73760	15315	17276
КРС, голов	22722	2479	11152
Свиньи, голов	2213	4570	2985
Овцы + козы, голов	3588	1010	1348
Лошади, голов	69	29	42
Кролики, голов	8787	1297	2720
Птицы, голов	424693	290583	41192
Минеральные удобрения всего, т	237,9	27,0	153,5

Предполагалось, что поверхностный склоновый сток и сток верховодки на пилотных водосборах образуются исключительно в период весеннего половодья. В остальное время года сток формируется только за счет подземного питания. В расчетах не учитывались дождевые паводки по причине недостаточного объема информации о характерных концентрациях во время прохождения дождевых паводков, а также вследствие незначительного объема дождевых паводков в этом регионе (от 5 до 15% от среднегодового стока за 2008 – 2018 гг.).

Получены расчетные оценки трансформации потока растворенных биогенных элементов на пилотных водосборах на пути от первичных элементов гидрографической сети до устьев реки: поток азота сокращается в 1,7–2 раза, поток фосфора – в 2–3,3 раза.

Сопоставление результатов расчетов годового выноса БЭ водами рек пилотных водосборов в Чебоксарское водохранилище выявило их удовлетворительное соответствие среднесуточным данным измерений на постах Росгидромета и мониторинга Верхне-Волжского бассейнового управления в устьях притоков Чебоксарского водохранилища в 2008–2018 гг.

Каждый пилотный водосбор был разделен на 10–15 подводосборов примерно с однородной диффузной нагрузкой (рис. 2.47–2.49). Для каждого выделенного подводосбора по крупномасштабным картам и космическим снимкам высокого разрешения (до 10 м) определены площади, занимаемые каждым угодьем, параметры антропогенной нагрузки и использованы характеристики почвенного покрова [Единый..., 2014]. Разбивка на подводосборы позволяет выявить участки, где формируется повышенный сток биогенных веществ, и в дальнейшем ранжировать сток по его интенсивности.

В табл. 2.11 приведены оценки среднегодового поступления биогенных элементов от диффузных источников с пилотных водосборов в Чебоксарское водохранилище, характерные для начала XXI в.

Повышенный биогенный сток с водосбора Узолы объясним природными условиями формирования водного стока на левобережье Чебоксарского водохранилища и сельскохозяйственной освоенностью (см. табл. 2.8). Из трех водосборов минимальные значения модулей стока БЭ характерны для бассейна Кудьмы, что объясняется пониженным водным стоком на правобережье Волги (см. табл. 2.9).

Таблица 2.11

Характеристики среднегодового стока биогенных элементов от диффузных источников с пилотных водосборов в Чебоксарское водохранилище в 2008–2018 гг.

Водосбор	Суммарный сток азота минерального, т/год	Суммарный сток фосфора минерального, т/год	Модуль стока азота минерального за год, кг/га	Модуль стока фосфора минерального за год, кг/га
Кудьма	471,1	23,4	1,45	0,07
Линда	354,5	18,4	2,11	0,11
Узола	500,6	22,9	2,60	0,12

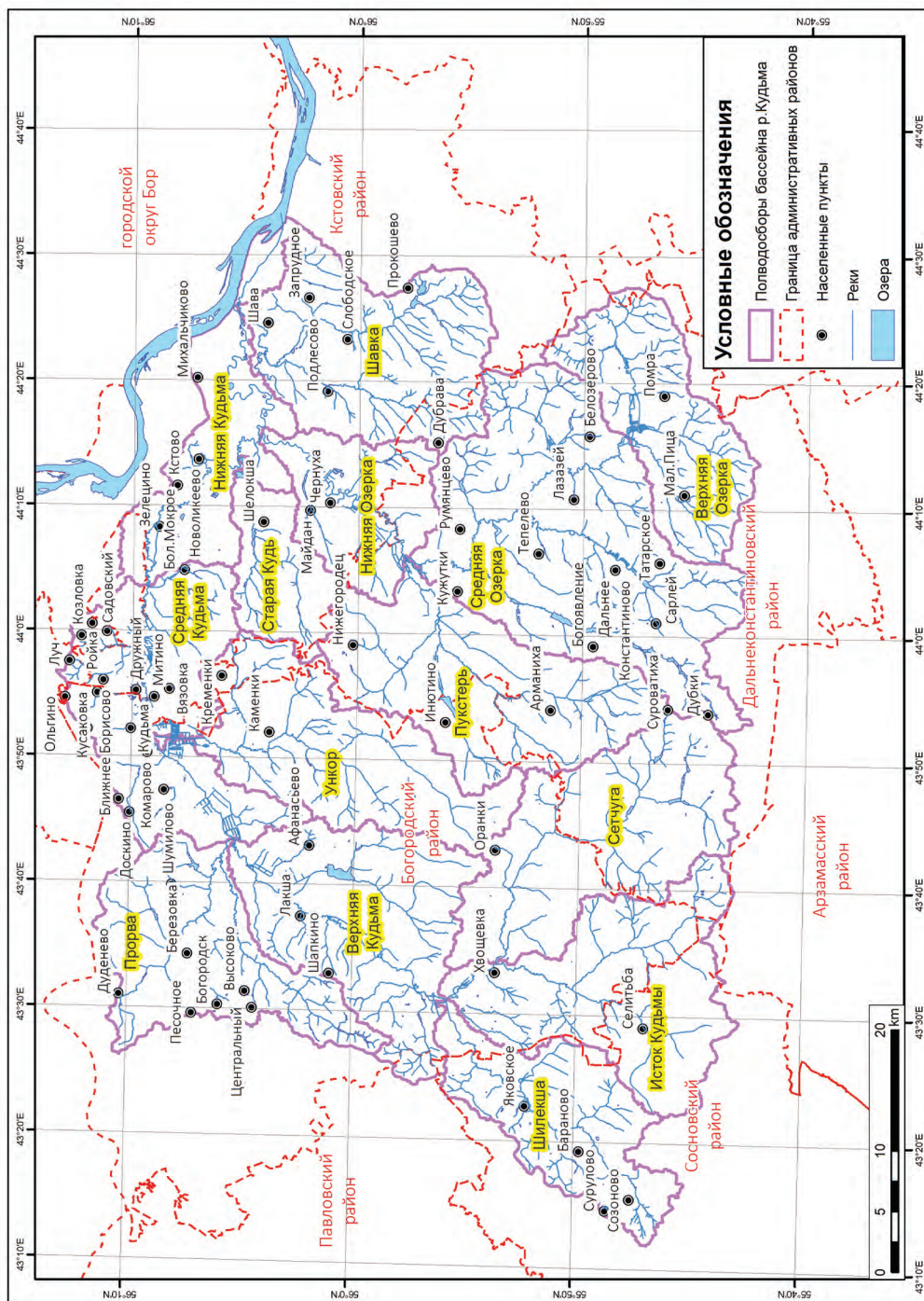


Рис. 2.47. Поводосборы и административное деление бассейна р. Кудыма

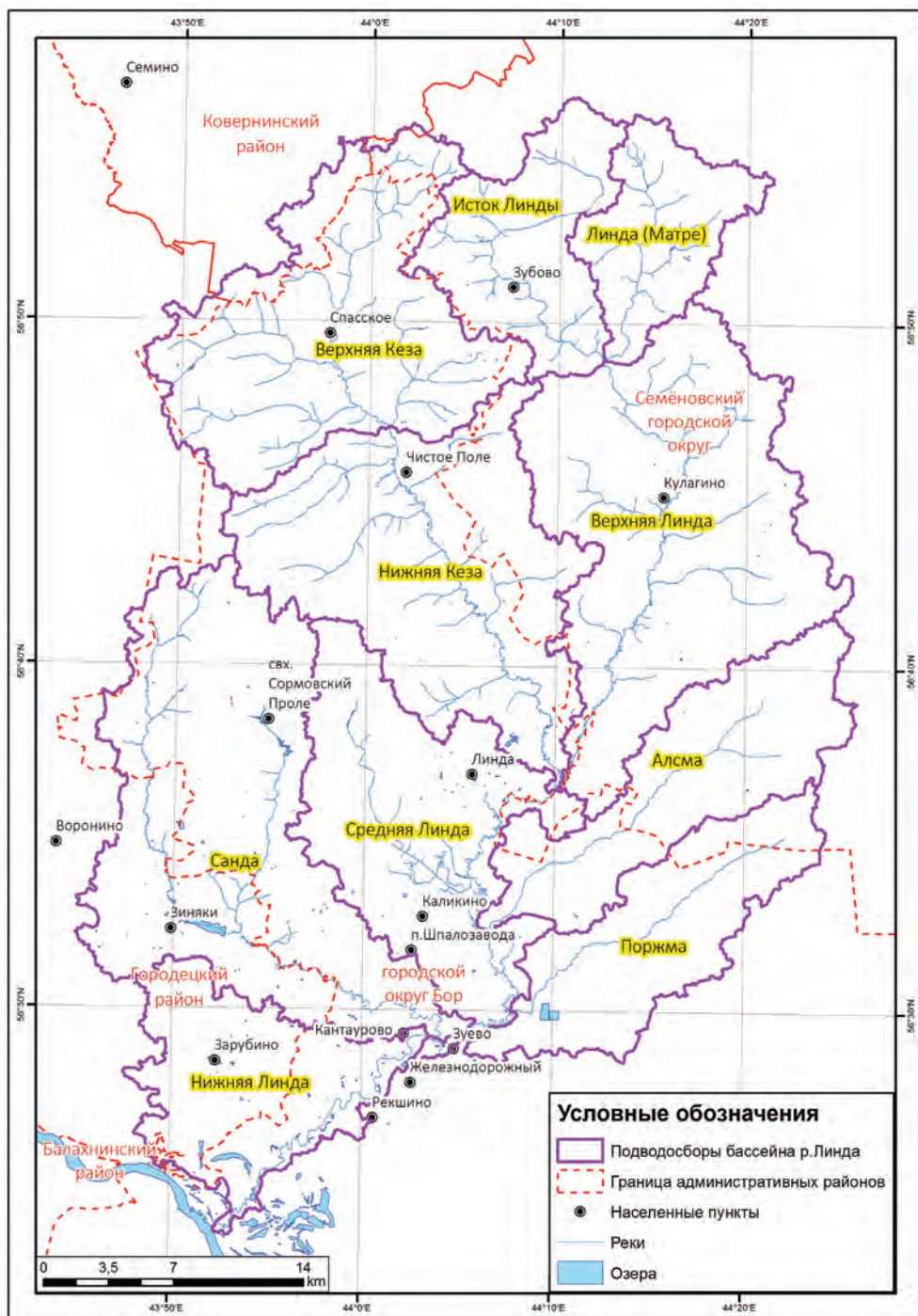


Рис. 2.48. Подводосборы и административное деление бассейна р. Линды

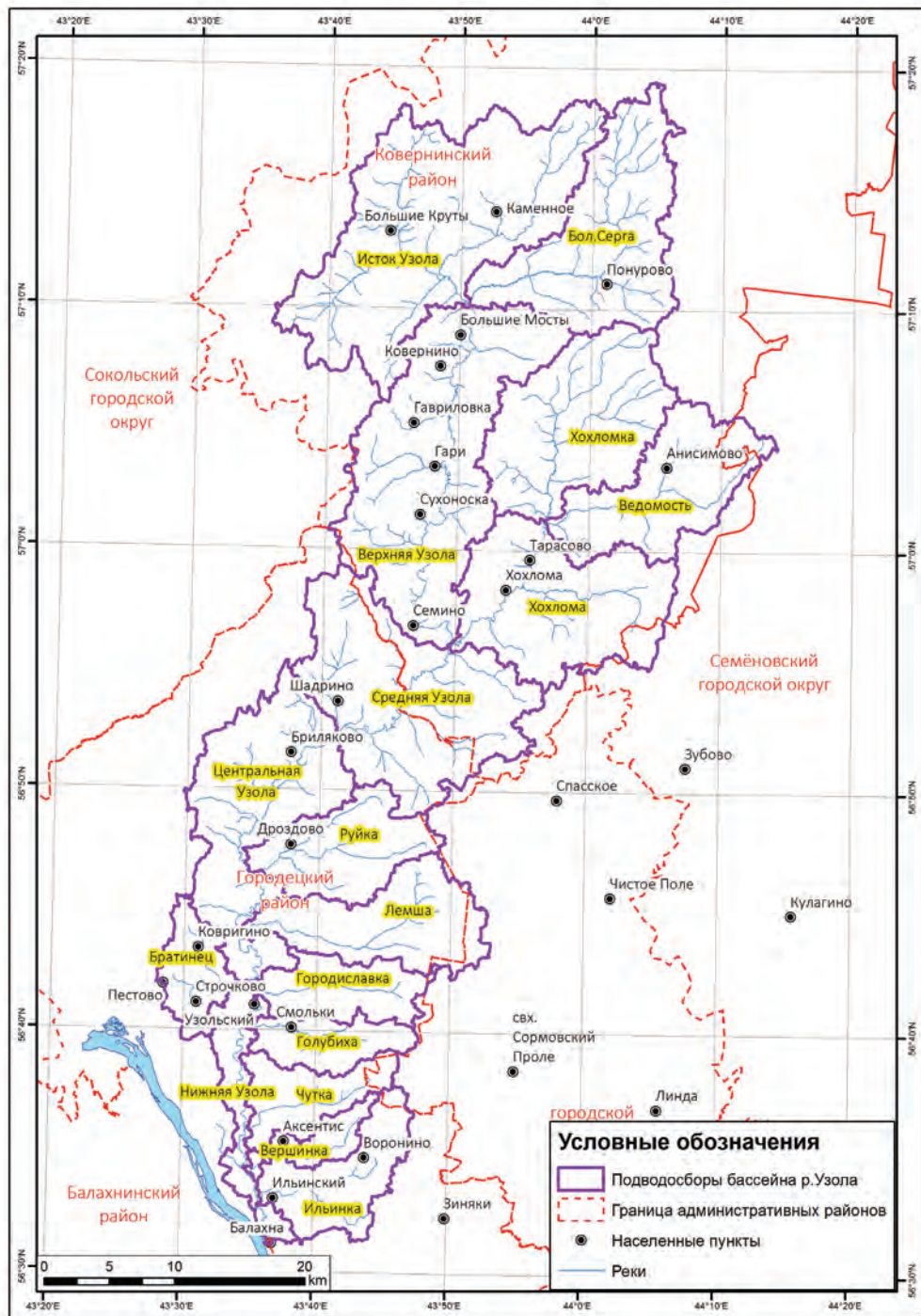


Рис. 2.49. Подводосборы и административное деление бассейна р. Узлолы

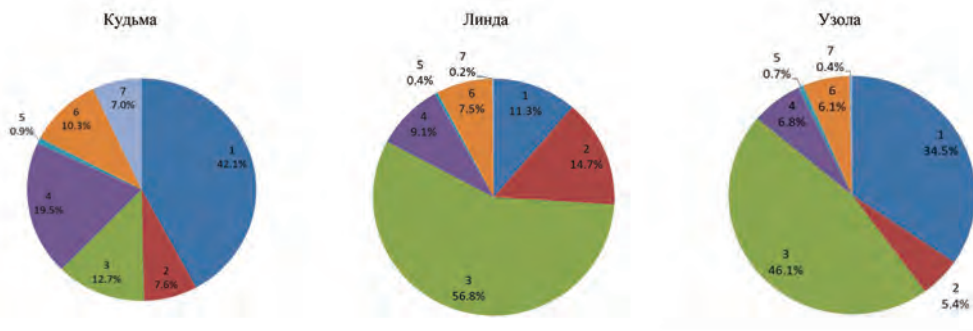


Рис. 2.50. Структура годового выноса биогенных веществ (суммарно азота минерального и фосфора минерального) от диффузных и точечных источников на пилотных водосборах: 1 – с пахотных земель; 2 – с сельскохозяйственных земель с уплотненной почвой; 3 – с леса; 4 – с неканализованной застройки; 5 – с территорий с высокой долей непроницаемых поверхностей; 6 – с овражно-балочной сети; 7 – от точечных источников (по 2ТП (водхоз))

На рис. 2.50 проиллюстрирован вклад разных источников в сток БЭ с пилотных водосборов в Чебоксарское водохранилище. Отметим, что вклад регистрируемых сбросов от точечных источников в поток БЭ с пилотных водосборов очень мал, на водосборах рек Линды и Узолы он составляет менее 1%, для р. Кудьмы – 7%. Преобладающий вклад в сток БЭ (суммарно минерального азота и минерального фосфора) от неконтролируемых источников в бассейне Кудьмы вносят территории, занятые пашней (более 40%). В бассейнах Линды и Узолы преобладает вклад в сток БЭ территорий с лесной растительностью (более 40% в бассейне Узолы и почти 60% в бассейне Линды).

Максимальные значения модулей диффузного стока БЭ (суммарно минерального азота и минерального фосфора) характерны для территорий с неканализованной застройкой (рис. 2.51). В Чебоксарское водохранилище с неканализованных поселений бассейна Кудьмы поступает в год около 4 кг/га азота и около 0,4 кг/га фосфора, с неканализованных поселений бассейнов Линды и Узолы поступает около 4,7 кг/га азота и около 0,7 кг/га фосфора. Следует заметить, что модули стока с территории неканализованных поселений зависят от ряда факторов, прежде всего от численности и плотности населения [Канализация..., 2010]. Например, с водосбора озера Неро модули стока почти на порядок больше: 37,4 кг/га в год общего азота и 7,6 кг/га общего фосфора [Кондратьев, Шмакова, 2019].

Несколько меньший диффузный сток БЭ поступает в Чебоксарское водохранилище с пахотных земель в год: от 2,4 кг/га минерального азота водосбора Кудьмы до 4,2 кг/га водосбора Узолы и от 0,06 кг/га минерального фосфора водосбора Кудьмы до 0,13 кг/га водосбора Узолы. Это близко к данным для стока минерального азота с сельскохозяйственных угодий Курской области за половодье: 0,7 кг/га с зяби и 0,43 кг/га с озими [Черны-

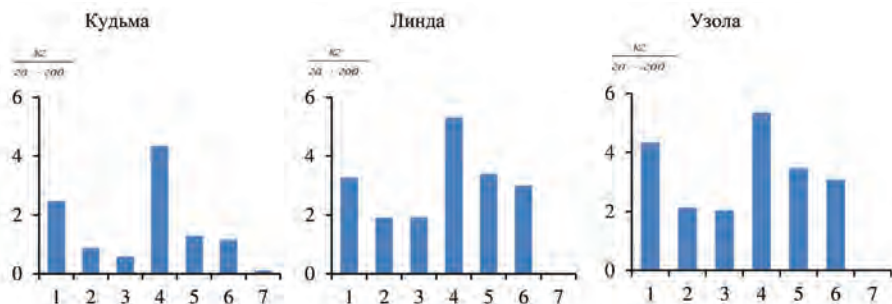


Рис. 2.51. Модули стока биогенных веществ (суммарно азота минерального и фосфора минерального) на пилотных водосборах, кг/га: 1 – с пахотных земель; 2 – с сельскохозяйственных земель с уплотненной почвой; 3 – с леса; 4 – с неканализованной застройки; 5 – с территорий с высокой долей непроницаемых поверхностей; 6 – с овражно-балочной сети; 7 – от точечных источников (по 2-ТП (водхоз)); 1-6 – отнесены к площади угодья, 7 – к площади всего водосбора

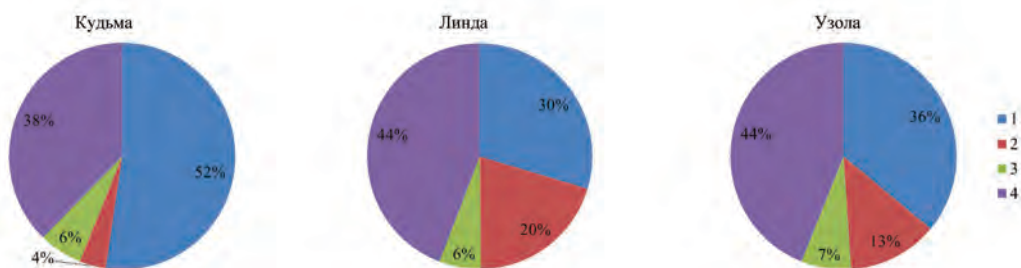


Рис. 2.52. Генетическая структура годового стока растворенных биогенных веществ (суммарно азота минерального и фосфора минерального) от диффузных источников: 1 – с поверхностным склоновым стоком; 2 – со стоком верховодки; 3 – с подземным стоком в половодье; 4 – с подземным стоком в период вне половодья

шев, Барымова, 1982]. Полученные модули также близки и к оценкам, полученным для Ярославской области: годовой модуль стока с сельскохозяйственных угодий в озеро Неро оценивается в 7 кг/га общего азота и 0,45 кг/га общего фосфора [Кондратьев, Шамова, 2019].

С территорий канализованной многоэтажной застройки и промышленных площадок от диффузных источников в год поступает от 1,2 кг/га минерального азота на водосборе Кудьмы до 3,2 кг/га на водосборах Узола и Линды, и от 0,08 кг/га минерального фосфора на водосборе Кудьмы до 0,26 кг/га на водосборах Узола и Линды. Полученные значения близки к данным по городу Курску [Чернышев, Барымова, 1982]: за половодье выносятся 0,28–0,52 кг/га минеральных форм азота с территорий, занятых многоэтажной застройкой, 2,4 кг/га азота с асфальтированных участков дорог с интенсивной транспортной нагрузкой.

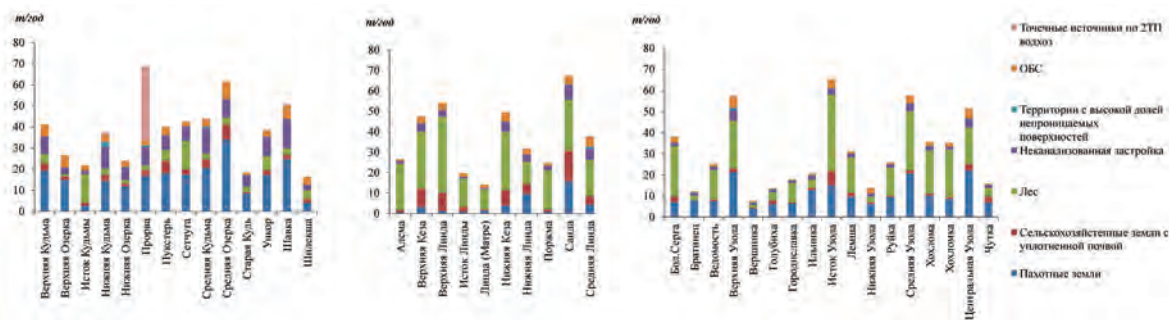


Рис. 2.53. Вынос биогенных веществ (суммарно азота минерального и фосфора минерального) от диффузных и точечных источников с подводосборов пилотных объектов в Чебоксарское водохранилище

Лесные участки из всех выделенных угодий характеризуются минимальными годовыми модулями стока БЭ: от 0,6 кг/га минерального азота на водосборе Кудьмы до 1,9 кг/га на водосборах Узолы и Линды, и от 0,04 кг/га минерального фосфора на водосборе Кудьмы до 0,09 кг/га на водосборах Узолы и Линды. Полученные оценки стока БЭ с лесных угодий близки к оценкам, полученным для лесных водосборов [Кондратьев и др., 2020]: 1,58 кг/га азота и 0,04 кг/га фосфора.

На всех трех водосборах велика роль подземного стока в выносе биогенных элементов (рис. 2.52). На залесенных водосборах левобережья Волги вклад подземных вод в сток БЭ достигает 50%, на водосборе Кудьмы несколько меньше – около 44%. На водосборе р. Линды, наиболее залесенном из рассматриваемых, значителен вклад переноса биогенных веществ поверхностным стоком (20%). На водосборе Кудьмы вклад поверхностного склонового стока составляет чуть более 50%, на водосборах левобережья Волги - 30–36%.

Аналогичные оценки стока БЭ с каждого типа угодий, а также вклада точечных источников получены для каждого из выделенных подводосборов пилотных объектов (рис. 2.53). Это позволяет определить участки водосбора, где формируется основное биогенное загрязнение.

Например, подводосбор р. Прорвы (водосбор Кудьмы) характеризуется повышенным вкладом точечных сбросов (г. Богородск) в формирование стока БЭ, что требует модернизации очистных сооружений. Подводосборы рек Средней Озёрки и Шавки (водосбор Кудьмы) отличаются повышенным вкладом в сток БЭ пахотных земель, где наиболее эффективными будут мероприятия по усовершенствованию технологий внесения удобрений на полях. На р. Шавке значителен вклад неканализованных участков в сток БЭ, поэтому наиболее простым и малозатратным мероприятием представляется организация современных септиков на подворьях. Почти на всех подводосборах Линды и Узолы основной сток БЭ формируется на лесных участках.

2.2.5 Загрязнение р. Камы (Камского водохранилища) в районе разработки месторождения калийных и магниевых солей

В верхней части Камского водохранилища расположен Соликамско-Березниковский промышленный узел, разрабатывающий одно из крупнейших в мире месторождений минеральных солей – Верхнекамское месторождение калийных и магниевых солей. В процессе производства образуются многочисленные источники диффузного загрязнения водохранилища, представляющие собой фильтрационные разгрузки от шламохранилищ и породных отвалов.

2.2.5.1 Природно-хозяйственная характеристика объекта исследования

Объект исследования – участок Камского водохранилища, расположенный в верхней его части, где в основном на левом берегу находятся промышленные площадки предприятий Соликамско-Березниковского промышленного узла (рис. 2.54, 2.55).



Рис. 2.54. Верхний участок Камского водохранилища с прилегающей территорией в районе Соликамско-Березниковского промузла

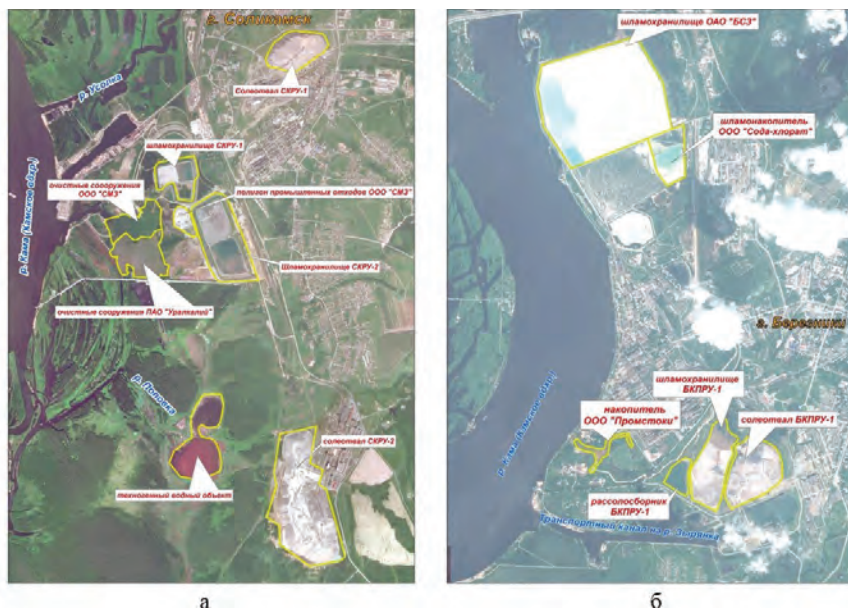


Рис. 2.55. Территория пилотного водосбора и расположение источников диффузного загрязнения в районе г. Соликамска (а) и г. Березники (б)

В физико-географическом плане исследуемая территория располагается на стыке Восточно-Европейской (Русской) равнины и Уральских гор, в северной части лесной зоны. Характеризуется континентальным, умеренно холодным климатом, среднегодовая температура воздуха по данным метеостанции Березники $+0,9^{\circ}\text{C}$. Территория относится к зоне достаточного увлажнения, среднее количество осадков за год – 829 мм.

Разнообразие форм рельефа в бассейне р. Камы до г. Березники обуславливает особенности гидрографической сети: существуют значительные различия между правобережными (типично равнинными) и левобережными (полугорными и горными) притоками реки. Густота речной сети является одной из самых высоких на территории Европейской части России и составляет $0,8\text{--}1,0\text{ км/км}^2$. Рассматриваемый водосбор характеризуется значительной заболоченностью (до 5–8%).

Питание поверхностных водных объектов – преимущественно снеговое с четко выраженным весенним половодьем, летне-осенними дождевыми паводками и устойчивой зимней меженью. Грунтовое питание формирует в среднем 25–35% годового водного стока.

Разработка поверхностных слоев Верхнекамского месторождения калийных и магниевых солей (ВКМКМС) началась еще в XV в. Город Соликамск возник при соляных промыслах, организованных вологодскими купцами Калиниковыми. Есть указания, что около 1430 г. они устроили рассолоподъемные трубы и варницы на берегу р. Усолки. К концу XVII –

началу XVIII в. Соликамск был крупнейшей «солеварней» России, которая давала в это время более половины всей реализуемой в стране соли. Со 2-й половины XIX в. начинается новый экономический подъем Соликамска, совершенствуются старые и строятся новые соляные заводы (в 1860 г. вываривалось 164,4 тыс. пудов соли, в 1900 – 3,4 млн пудов). К концу XIX – началу XX в. в городе помимо соляных действовало семь кожевенных заводов, столярное и иконостасное предприятия, два кирпичных и винный заводы.

На базе соляных промыслов в XVI–XVII вв. на территории города Березники возникли первые русские поселения. Возникновение в августе 1883 г. на левом берегу Камы, напротив Усолья, первого в России содового завода положило начало современным Березникам. В 1-ю советскую пятилетку Березники превратились в крупный центр химической промышленности. На территории города был построен гигант химической промышленности СССР – Березниковский химкомбинат. В 1976 г. на землях г. Березники открыто, а с 1977 г. эксплуатируется Юрчукское месторождение нефти. Добыча нефти составляет 335 тыс. т/год. В настоящее время также разрабатываются месторождения силикатных песков, глин, ПГС.

Соликамск и Березники – два экономических центра Березниковско-Соликамского промышленного района, территория которого в экономическом отношении представляет собой единое целое, так как основное предприятие ПАО «Уралкалий» имеет рудоуправления на территории обоих городов.

В настоящее время хозяйственный профиль промышленного узла определяют:

- горно-химическая промышленность: ПАО «Уралкалий» (добыча калийных солей и производство минеральных удобрений), филиал «Азот» ОАО «ОХК УРАЛХИМ» (аммиачная селитра, карбамид и прочие азотсодержащие удобрения);
- металлургическая промышленность: ОАО «Соликамский магниевый завод» (производство магния, основанное на переработке калийно-магниевых солей), «АВИСМА» филиал ПАО «Корпорация ВСМПО–АВИСМА» (титан губчатый и титановые порошки, металлический магний, магниевые сплавы и изделия, химическая продукция);
- предприятия лесопромышленного комплекса: ОАО «Соликамскбумпром» и лесозаготовительный комбинат;
- ОАО «Соликамский завод Урал» – самый крупный военно-промышленный завод в Восточной Европе.

На территории городов имеются предприятия машиностроения (Соликамский ремонтно-механический завод), строительные организации (крупнейшая строительная организация на Урале – трест «Березникхимстрой»), предприятия пищевой промышленности.

2.2.5.2 Особенности формирования диффузного загрязнения р. Камы

Ранее в работах [Лепихин и др., 2016; Лепихин, Мирошниченко, 2003; Лепихин и др., 2010; Любимова и др., 2010] отмечалось, что фактические наблюдаемые уровни загрязнения р. Камы (Камского водохранилища) существенно не соответствуют (в сторону превышения) декларируемым промышленными предприятиями нагрузкам. В значительной (возможно, определяющей) степени это обусловлено влиянием на гидрохимический состав Камского водохранилища в районе расположения Соликамско-Березниковского промышленного узла рассредоточенных, или диффузных, источников загрязнения. В большинстве случаев такие источники загрязнения связывают со смывом ЗВ с сельскохозяйственных угодий и городских агломераций. Однако в зонах высокой техногенной нагрузки, обусловленной горнодобывающими и крупнотоннажными химическими комплексами, таким источником загрязнения могут быть фильтрационные разгрузки от шламоохранилищ и породных отвалов (рис. 2.55).

Из-за отсутствия какой-либо документации или отчетности установить источники диффузного загрязнения, т.е. рассредоточенные латентные источники, как правило, низкой удельной интенсивности [$\text{г}/(\text{см}^2)$] весьма затруднительно. Поэтому были сформулированы возможные причины диффузного загрязнения р. Камы (Камского водохранилища) с территории Соликамско-Березниковского промышленного узла:

- несоблюдение регламентных условий сбросов по декларируемым выпускам сточных вод;
- недеклалируемые сбросы сточных вод;
- недеклалируемые фильтрационные разгрузки от шламоохранилища и породных отвалов;
- естественные высокоминерализованные рассолы и самоизливы из старых незатапливаемых скважин, расположенных в зоне затопления Камского водохранилища.

Для идентификации недеклалируемых диффузных источников загрязнения р. Камы, уточнения масштабов и пространственного распределения зоны загрязнения реки, связанного с фильтрационными разгрузками из накопителей жидких и твердых отходов с территории промузла, в период 2018–2019 гг. выполнены экспедиционные исследования, включающие комплекс топографо-геодезических и гидрологических работ.

Потенциальными загрязняющими ингредиентами являются минеральные соли (NaCl , KCl , MgCl), связанные с разработкой и освоением ВКМКМС, поэтому для исследования пространственного распространения зоны загрязнения измерялась удельная электропроводность воды в $\text{мкСм}/\text{см}$, имеющая устойчивую связь с общей минерализацией воды. На контрольных вертикалях также проводился отбор проб воды на общий химический анализ. Впер-

вые данный комплексный метод для исследования зон загрязнения Камского водохранилища был предложен в 1971 г. [Девяткова, Лепихин, 1971]. Общая протяженность участка экспедиционных работ по р. Каме составила 75 км от п. Тюлькино (верхний створ) до п. Орел (нижний створ). Измерения выполнены на 187 вертикалях с определением качества воды по глубине с шагом 1 м.

В периоды первого (и июнь 2018) и второго (август 2018) обследований уровни воды были достаточно близки и составляли 108,2–108,5 м БС. В период третьего (август 2019) обследования уровни воды были существенно выше и составляли 109,1–109,2 м БС. Соответственно, расходы существенно отличались. Так, в 2018 г. во время проведения полевых работ в период летней межени расход воды составлял ~586 м³/с, меженный же расход 2019 г. был близок к паводочному 2018 г. – 2218 м³/с.

Верхняя 20-километровая зона участка работ находится вне территории ВКМКС, и на ней не фиксируются участки аномально высокого содержания минеральных солей. Гидрохимический режим р. Камы на верхнем участке полевых исследований полностью определяется естественными природными факторами. Зона активного техногенеза начинается с 2499 км судового хода с устья канала Глотиха.

Характерной особенностью большинства сточных вод на территории Соликамско-Березниковского промышленного узла и фильтрационных разгрузок является их высокая минерализация и, как следствие, их высокая плотность. Данное обстоятельство обуславливает существенную неоднородность распределения удельной электропроводности воды на участках активного техногенеза. Впервые значительная неоднородность минерализации воды по глубине р. Камы в районе г. Березники была описана еще в 1959 г. первым директором Пермской Гидрометеорологической обсерватории Г.И. Куликовым [Куликов, 1959].

Другой характерной особенностью данного участка работ, в первую очередь, между г. Соликамском и г. Березники, является очень сложная морфометрия русла р. Камы, наличие многочисленных протоков. Как показали натурные исследования и вычислительные эксперименты, эти протоки являются каналами переноса на значительное расстояние высокоминерализованных загрязненных стоков и фильтрационных разгрузок в период летней межени.

По результатам экспедиционных исследований для каждой вертикали были построены профили распределения по глубине удельной электропроводности и минерализации воды. Пример такого построения приведен на *рис. 2.56*.

Вертикали 1705–1711 расположены у левого берега р. Камы в непосредственной близости от шламохранилища «Белое море». Высокие значения минерализации обуславливаются, по-видимому, фильтрационными разгрузками из данного объекта. Косвенным подтверждением данной гипотезы является очень высокое содержание в придонной области ионов

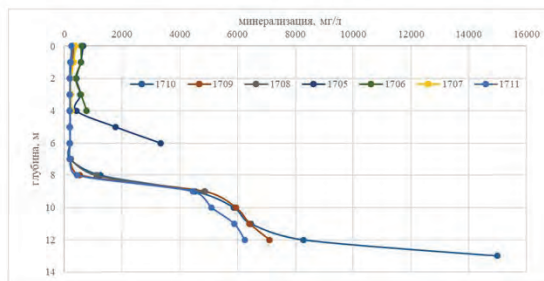


Рис. 2.56. Распределение минерализации воды вдоль левого берега р. Камы около «Белого моря» в период летней межени 2018 г.; 1705-1711 номера промерных вертикалей

кальция, что характерно для сточных вод содовой промышленности, но совершенно нетипично для рассолов калийной промышленности. В период прохождения половодья минерализация воды увеличивается на вертикалях в 2–4 раза, и лишь на одной – в 12 раз. В летнюю межень на шести вертикалях минерализация воды увеличивается в 18–70 раз, и лишь на двух вертикалях в 3–4 раза. Необходимо отметить, что точечных выпусков сточных вод здесь нет.

По результатам исследования были построены карты распределения удельной электропроводности и минерализации воды в придонной области и поверхностном слое на двух участках: в районе г. Соликамска от р. Усолки до п. Лысьвы и в районе г. Березники от автодорожного моста до г. Орла. Пример таких карт приведен на *рис. 2.57 и 2.58*.

Различия в загрязнении р. Камы (Камского водохранилища) на исследуемом участке, например на стрежне, весной и летом характерны для большинства рек, испытывающих загрязнение, обусловленное сбросами промышленности, а не воздействием сельского хозяйства. Дело в том, что в период прохождения весеннего половодья происходит существенное разбавление сточных вод из любых источников, точечных и диффузных, а смыв загрязнения с территории весьма незначителен. Поэтому вода в водохранилище на спаде весеннего половодья существенно чище, чем летом, в период межени.

2.2.5.3 Количественная оценка диффузного загрязнения

Данные полевых исследований были использованы для оценки масштабов диффузного загрязнения, также были учтены все регламентируемые источники загрязнения в районе расположения Соликамско-Березниковского промышленного узла по данным государственной статистической отчетности 2–ТП (водхоз).

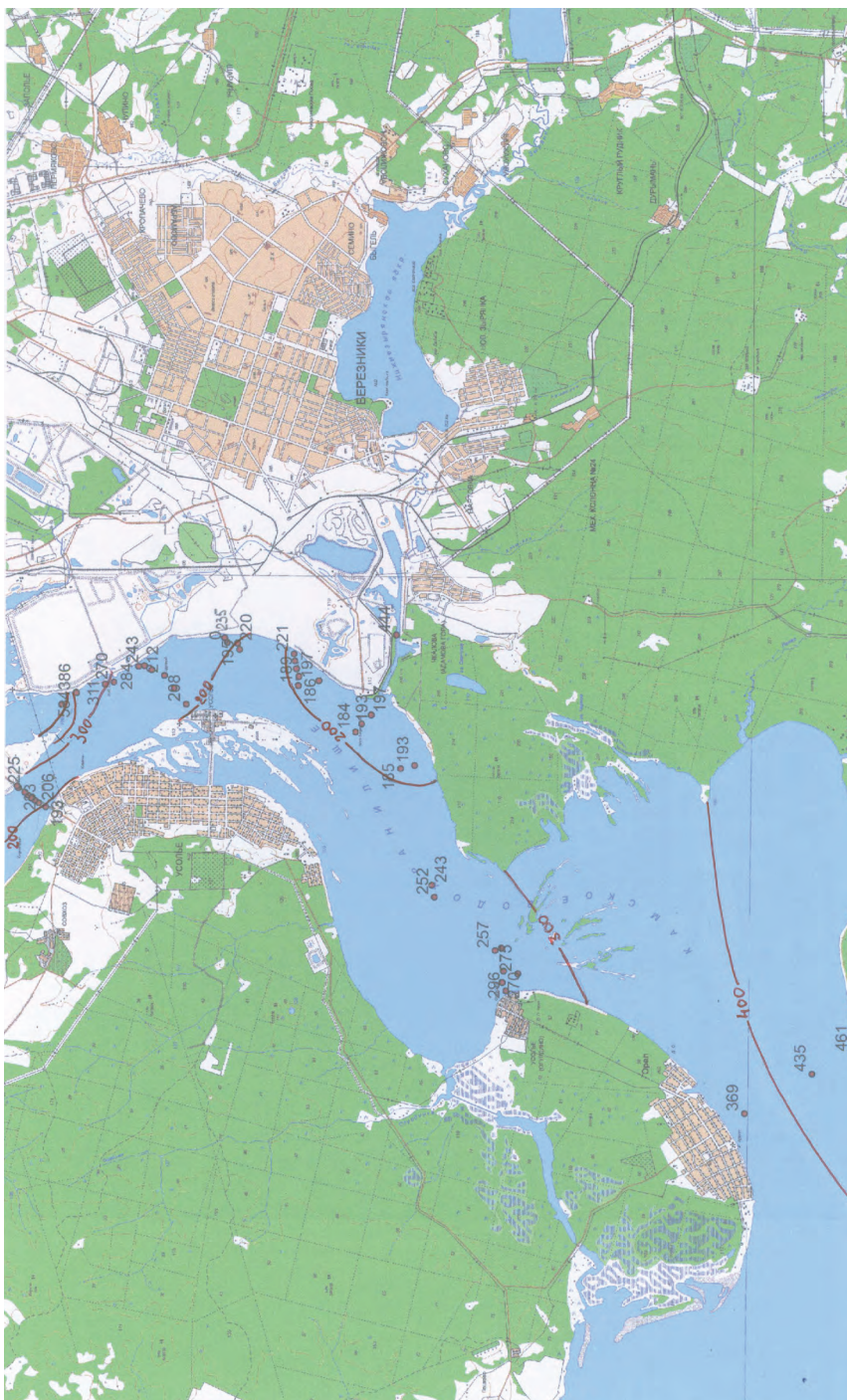


Рис. 2.57. Карта-схема распределения минерализации воды в поверхностном слое Камского водохранилища в районе г. Березники в период летней межени



Рис. 2.58. Карта-схема распределения минерализации воды в придонной области Камского водохранилища в районе г. Березники в период летней межени

На рассматриваемом участке имеется три декларированных, точечных выпуска сточных вод. Первый, самый верхний выпуск через канал Глотиха отводит сточные воды АО «Соликамскбумпром» и хозяйственно-бытовые стоки северной части г. Соликамска.

Сточные воды Соликамского магниевого завода, хозяйственно-бытовые стоки южной и центральной частей г. Соликамска, а также сточные воды СКРУ–1 отводятся через выпуск, расположенный на выходе из Кирилловой Копани (район устья р. Черной). Планируемый, ожидаемый выпуск рассолов СКРУ–2 расположен в 1600 м ниже. Сточные воды с СКРУ–3 поступают в р. Каму (Камское водохранилище) через р. Усолку.

Основным выпуском сточных вод г. Березники является станция перекачки Березники ООО «Промстоки». Расход сбрасываемых стоков составляет 3 м³/с. Сточные воды от БКПРУ–2, БКПРУ–3, а также от вводимого в эксплуатацию Усольского калийного комбината поступают в р. Каму через р. Яйву и р. Ленву, которая также впадает в Яйвинский залив. В р. Ленву сточные воды поступают через систему малых водотоков. Основным потенциальным источником диффузного загрязнения с территорий городов Соликамск и Березники являются фильтрационные разгрузки из шламохранилищ и породных отвалов предприятий калийной промышленности. Кроме перечисленных объектов, на территории г. Березники наиболее существенное влияние на качество воды оказывает расположенное в непосредственной близости от водного объекта шламохранилище «Белое море» (рис. 2.57 и 2.58). При этом воздействие всех точечных источников и источников диффузного загрязнения проявляется с левого берега, где располагаются основные промышленные комплексы Соликамско-Березниковского промузла.

Для исключения загрязнения, создаваемого точечными источниками, проводился расчет создаваемых ими возможных зон загрязнения. Расчеты проводились в 2D-постановке с использованием лицензионного программного продукта SMS v11.1. Данный программный продукт достаточно широко использовался при решении конкретных задач [Любимова и др., 2010]; он адаптирован к рассматриваемому участку р. Камы (Камскому водохранилищу). Поскольку распределение как скорости течения в водных объектах, так и фильтрационных разгрузок принципиально зависит от батиметрии, были произведены уточнения батиметрии района работ. За основу был взят Атлас единой глубоководной системы Европейской части РФ (Т.9, часть I) [Атлас..., 2016] с последующими уточнениями и детализацией в районе наиболее значимых техногенных объектов.

По результатам моделирования установлено, что в период весеннего половодья происходит более чем 1000-кратное разбавление ЗВ в р. Каме, в период летней межени – более чем 200-кратное разбавление. Один из результатов моделирования представлен на рис. 2.59.

Как следует из сопоставления рис. 2.57 и 2.59, распределения зон загрязнения от точечных источников при высоких и низких расходах подобны –



Рис. 2.59. Зона распространения ЗВ от сброса с ООО «Промстоки», участок р. Кама от населённого пункта Пыскор до г. Орел

наличие повышенных зон загрязнения вблизи источников загрязнения и в левобережных протоках, куда попадают сточные воды. Однако эти зоны повышенного загрязнения выглядят значительно более контрастно при низких меженных расходах, чем при высоких.

Выполненные полевые наблюдения, таким образом, подтверждают картину загрязнения от точечных источников, полученную по результатам моделирования. Однако полевые наблюдения выявили повышенные зоны загрязнения в придонной области, которые никак не могут быть объяснены наличием только точечных источников. В первую очередь, эта зона загрязнения располагается вблизи шламоохранилища «Белое море».

Методика оценки

Как уже отмечалось, под диффузными источниками загрязнения в этом разделе подразумеваются все не декларируемые как точечные, так и рассредоточенные источники. При этом может быть несколько независимых схем оценки интенсивности таких диффузных источников. Если механизм формирования данного загрязнения в водном объекте неизвестен, то наиболее простой и очевидный способ оценки интенсивности потоков диффузного загрязнения может быть построен на основе анализа балансовых схем потоков химических веществ на определенном участке водного объекта. Однако он дает только интегральную оценку для этого участка. Детализация при данной схеме расчетов достигается путем уменьшения протяженности расчетных участков.

В общем виде интенсивность привноса k -го поллютанта диффузными источниками на конкретном участке водотока может быть оценена следующим образом:

$$q_{латk} = \frac{\int_{F_{контр}} C_k(f,t)V(f,t)df - \int_{F_{фон}} C_k(f,t)V(f,t)df}{T} - q_{\Sigma дек}, \quad (2.1)$$

где $q_{латk}$ – средняя за интервал времени T (с) интенсивность диффузного загрязнения для k -го ингредиента, г/с;

$V(f,t)$, $C_k(f,t)$ – соответственно, распределения скорости течения (м/с) и содержания (г/м³) рассматриваемого k -го поллютанта по сечению F (м²) в контрольном и фоновом створах в момент времени t (с);

$q_{\Sigma дек}$ – суммарная интенсивность декларируемых источников на данном участке водотока, определенная по 2–ТП (водхоз), г/с.

Нетрудно видеть, что погрешность данного подхода в значительной мере определяется объективностью оценки потоков поллютантов в конкретном створе, что, в свою очередь, зависит от равномерности распределения качества воды по живому сечению водного объекта. При равномерном распределении поллютантов в сечении потока можно успешно оперировать средними концентрациями и расходами воды.

В этом случае средняя интенсивность диффузного загрязнения от латентных источников, рассматриваемых как диффузных, поступающего на определенном участке водотока, оценивается как невязка потоков рассматриваемых ЗВ по формуле:

$$q_{латk} \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (C_{k,1,i} \cdot Q_1 - C_{k,2,i} \cdot Q_2) - q_{\Sigma дек} \quad [\text{г/с}], \quad (2.2)$$

где $q_{латk}$ – средняя интенсивность диффузного загрязнения для k -го ингредиента, г/с;

$C_{k,1,i}$ и $C_{k,2,i}$ – концентрации k -го ингредиента в i -ой точке измерения, соответственно, для 1-го и 2-го створов в начале и конце участка, г/м³;

Q_1 и Q_2 – расходы воды рассматриваемого водотока во времена, соответствующие отборам проб воды в 1-м и 2-м створах, м³/с.

Результаты

Интегральная оценка диффузной составляющей техногенного загрязнения, поступающего на рассматриваемом участке в р. Каму (Кам-

ское водохранилище), проводилась на основе прямой балансовой схемы. При этом для оценки потоков веществ в самом водотоке-приемнике использовались два совершенно независимых массива данных: материалы сетевых наблюдений Пермского ЦГМС за период с 1994 по 2015 гг., а также материалы детальных полевых исследований, выполненных в июне – августе 2018 г. и в августе 2019 г. Характерной особенностью материалов сетевых наблюдений является то, что при их выполнении отбор проб проводится только на одной вертикали и на двух горизонтах: поверхность, дно; это не может в полной мере отразить наблюдаемую на *рис. 2.58 и 2.59* неоднородность распределения концентраций ЗВ как по акватории, так и по глубине водного объекта. В то же время полевые работы проводились по значительно более детализированной схеме. Поэтому, по данным экспедиционных исследований, расход воды в расчетном створе определялся с использованием поля скоростей и профиля русла, а расчет массы ЗВ – с использованием поля концентраций.

В качестве фонового створа при анализе массы ЗВ в р. Каме был выбран створ пгт Тюлькино, так как, согласно ранее проведенным работам [Лепихин и др., 2016; Лепихин, Мирошниченко, 2003; Лепихин и др., 2010] и данным форм 2–ТП (водхоз) Пермского края, свидетельствующим об отсутствии сбросов сточных вод выше этого створа, данные по створам пгт Тюлькино представляют собой естественный химический состав природных вод р. Камы. Контрольный створ назначен в районе г. Орла, расположенного ниже г. Березники (*рис. 2.54, 2.58*). Морфологические особенности данного участка (поворот на 90° и сужение русла) способствуют выравниванию по ширине концентраций ЗВ, поступивших выше по течению. Таким образом, створ у г. Орла представляет в интегральной форме всю массу ЗВ, полученную р. Камой в районе Соликамско-Березниковского промышленного узла. Помимо приведенного обоснования расположения створов необходимо указать также наличие в этих створах наблюдений государственного мониторинга. Морфологические особенности русла у г. Орла способствуют значительному перемешиванию, поэтому масса ЗВ в данном створе, рассчитанная по данным Пермского ЦГМС, совпадает с массой ЗВ, определенной по данным экспедиционных исследований. В створах, расположенных выше по течению, в пределах Соликамско-Березниковского промышленного узла, таких совпадений в расчетах общей массы ЗВ не наблюдается в связи с существенной неоднородностью распределения загрязнений по ширине и глубине потока.

Диффузный сток за год мог быть рассчитан только по данным Пермского ЦГМС, поскольку экспедиционные исследования охватывали 1 или 2 месяца в году. Результаты расчета диффузного стока на рассматриваемом участке Камского водохранилища за год балансовым методом представлены в *табл. 2.12*.

Таблица 2.12

Диффузный сток за год по данным Пермского ЦГМС

	Показатели загрязнения	Тюлькино	Березники, ниже города
Значения в створах	Интенсивность переноса, кг/с	165	372
	Масса ЗВ, т	5204898	11747586
Привнос ЗВ на участке	Интенсивность переноса, кг/с	207	
	Масса ЗВ, т	6542688	
Регламентированный сброс, 2–ТП (водхоз)	Интенсивность переноса, кг/с	22,6	
	Масса ЗВ, т	714440	
Диффузный сток	Интенсивность переноса, кг/с	185	
	Масса ЗВ, т	5828248	

Как следует из *табл. 2.12*, масса ЗВ в результате диффузного загрязнения на участке Камского водохранилища в районе Соликамско-Березниковского промузла составляет 5,8 млн т в год при средней интенсивности 185 кг/с. Таким образом, диффузный привнос на данном участке Камского водохранилища составляет 89% от общего поступления загрязнения на всем участке от Тюлькина до г. Орла.

В связи с тем, что экспедиционные исследования проводились в августе, был рассчитан диффузный сток балансовым методом по данным экспедиционных наблюдений и по данным наблюдений Пермского ЦГМС только за август. Результаты приведены в *табл. 2.13* и *2.14*.

Таблица 2.13

Диффузный сток за август-месяц по данным Пермского ЦГМС

	Показатели загрязнения	Тюлькино	Березники, ниже города
Значения в створах	Интенсивность переноса, кг/с	98	290
	Масса ЗВ, тыс. т	262	777
Привнос ЗВ на участке	Интенсивность переноса, кг/с	193	
	Масса ЗВ, тыс. т	514	
Декларируемый сброс по 2–ТП (водхоз)	Интенсивность переноса, кг/с	22,2	
	Масса ЗВ, тыс. т	59,5	
Диффузный сток	Интенсивность переноса, кг/с	170	
	Масса ЗВ, тыс. т	454	

Таблица 2.14

Диффузный сток за август-месяц по данным полевых исследований

	Показатели загрязнения	Тюлькино	Соликамск, ниже города	Березники, ниже города, г. Орел
Значения в створах	Интенсивность переноса, кг/с	88,5	116	291
	Масса ЗВ, тыс. т	237	311	780
Привнос ЗВ на участке	Интенсивность кг/с	27,4		175
	Масса ЗВ, тыс. т	73,5		469
Регламентированный (декларируемый) сброс по 2-ТП (водхоз)	Интенсивность, кг/с	7,8		14,4
	Масса ЗВ, тыс. т	20,9		38,7
Диффузный привнос	Интенсивность, кг/с	19,6		161
	Масса ЗВ, тыс. т	52,5		431

Результаты, представленные в *табл. 2.13 и 2.14*, показывают, что при расчете по средним характеристикам оба метода дали интенсивность диффузного привноса между Тюлькино и Березниками в августе месяце в размере ~170–180 кг/с или 460–480 тыс. т. Данное обстоятельство достаточно хорошо объясняется тем, что к контрольному створу (для г. Березники – это г. Орел), вследствие особенностей морфометрии р. Камы на данном участке, распределение макрокомпонентов по поперечному сечению значительно выравнивается, и их оценки по двухточечной схеме ЦГМС достаточно объективно отражают их потоки. Небольшие расхождения объясняются разными периодами, за которые были взяты данные для расчета. Совпадение расчета за август по двум совершенно независимым массивам данным позволяет принять годовые расчеты, представленные в *табл. 2.12*, также правомерными.

Как следует из *табл. 2.13 и 2.14*, диффузный привнос на участке между Соликамском и Березниками гораздо (в 8 раз) больше декларируемого привноса ЗВ в Каму на участке между Тюлькино и Соликамском.

Вклад диффузной составляющей в формировании загрязнения р. Камы в районе Соликамско-Березниковского промузла по отдельным ингредиентам представлен в *табл. 2.15* и колеблется от 83.9% по калию до 95.1% по хлоридам.

Если известны доминирующие механизмы формирования диффузного загрязнения, задача его оценки значительно конкретизируется. Выполненная оценка интенсивности потоков ЗВ, поступающих на данном участке р. Камы (Камского водохранилища), показала, что доминирующий вклад вносят недеклалируемые рассредоточенные источники загрязнения, связанные с фильтрационными разгрузками из шламохранилищ.

Таблица 2.15

Масса ЗВ, тыс. т, переносимая р. Камой в разных створах и от разных источников

Створ/Источник	Магний	Хлориды	Сульфаты	Сумма минеральных веществ	Калий	Натрий
В контрольном створе (Огурдино)	213,9	5810	864	13700	395	1080
В фоновом створе (Тюлькино)	119	366	525	3825	154	400
Привнос на участке	94,4	5440	339	9910	241	678
По 2–ТП водхоз	6	269	20	556	38,9	98,3
Диффузный привнос	88,4	5180	319	9350	202	579
% привноса от диффузного стока	93,6	95,1	94,1	94,4	83,9	85,5

Учитывая доминирующий вклад фильтрационных разгрузок, удельная локальная интенсивность диффузного загрязнения может быть оценена на основе следующего соотношения

$$q_{\text{диф}} = \int_0^L \int_0^H (K_{zz} \cdot \frac{\partial C}{\partial Z}) dy dx, \quad (2.3)$$

где K_{zz} – коэффициент турбулентной диффузии по оси Z , $\text{м}^2/\text{с}$;
 L , H – характерные размеры зоны фильтрации по осям X и Y , м .

Наиболее эффективно данная схема оценки может быть реализована при сопряженном расчете фильтрационных разгрузок из накопителей жидких отходов (рассолов) и формировании зон загрязнения в водотоках [Куваев и др., 2008; Любимова и др., 2015]. По данной схеме был выполнен трехмерный расчет зон формирования диффузного загрязнения вследствие фильтрационных разгрузок в Камское водохранилище из расположенного на левом берегу шламоохранилища «Белое море», где, по данным полевых исследований, наблюдаются максимальные фильтрационные разгрузки. Была поставлена следующая задача: имея характерные линейные размеры источника и его интегральную интенсивность, воспроизвести распределение полей наблюдаемой минерализации в водохранилище. Численное моделирование проводилось в рамках трехмерного подхода при помощи пакета прикладных программ ANSYS Fluent, позволяющего моделировать течение жидкостей и газов с учетом турбулентности и неоднородностей концентрации.



Рис. 2.60. Расположение и геометрия расчетной области Камского водохранилища для трехмерного численного моделирования процесса истечения рассола из прибрежного участка в районе «Белого моря»

Рассматривался процесс диффузного истечения рассола из плоского прибрежного участка с тремя вариантами линейного размера: 200 м, 550 м, 1100 м и вертикальным размером 1 м. Расположение и геометрия расчетной области показаны на *рис. 2.60*. Строилась неравномерная сетка с учетом морфометрии речного дна. Размерность сетки составляла порядка четырехсот тысяч узлов. Задача решалась методом конечных объемов. Турбулентные течения описывались в рамках $k-\varepsilon$ модели.

На *рис. 2.61* показано сопоставление результатов численного моделирования и натурных измерений для разных контрольных вертикалей в случае линейного источника размером 1100 м и вертикальным размером 1 м. Как видно на *рис. 2.61*, и натурные измерения, и численное моделирование показывают формирование значительной вертикальной неоднородности и слоя скачка на одном и том же для всех вертикалей расстоянии от дна; наблюдается не только качественное, но и количественное согласие результатов.

Таким образом, на основе экспедиционных исследований, расчетов и математического моделирования было установлено, что на рассматриваемом участке р. Камы наиболее значимое антропогенное воздействие оказывает диффузное загрязнение, непосредственно связанное

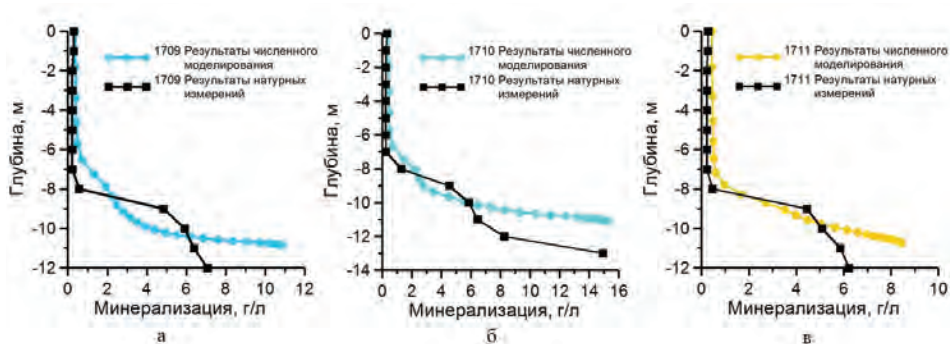


Рис. 2.61. Распределение минерализации воды по глубине согласно данным численных расчетов и натуральных измерений на вертикалях 1709 (а), 1710 (б) и 1711 (в)

с проблемой утилизации избыточных рассолов, возникающих при эксплуатации ВКМКС. Для иллюстрации на рис. 2.62 приведены расчетные значения интенсивности диффузного загрязнения в кг/с по данным наблюдений в августе 2019 г. Рис. 2.62 показывает, что до Соликамско-Березниковского промузла диффузное загрязнение в р. Каме отсутствует (входной створ Тюлькино). Притоки дают интенсивность диффузного загрязнения от 0,2–0,3 кг/с (реки Черная и Поповка) до 7 кг/с (реки Усолка и Зырянка). Основной объем диффузного загрязнения поступает непосредственно в р. Каму (Камское водохранилище) и меняется от 26 кг/с в районе г. Соликамска, постепенно увеличиваясь до 139 кг/с у г. Орла ниже г. Березники.

Для минимизации воздействия избыточных рассолов на водные объекты Соликамско-Березниковского промышленного узла в бассейне р. Камы предложены следующие схемы реализации водоохраных мероприятий по защите от антропогенных воздействий:

1. Разбавление отводимых стоков до экологически безопасного уровня. Регулирование сброса сточных вод в зависимости от гидрологического и гидрохимического режимов приемника сточных вод.
2. Захоронение производственных отходов в геологических структурах. Отведение избыточных рассолов в подземные горизонты.
3. Технологический подход. Создание безотходных схем производств готовой продукции. Переход на новые безводные технологии обогащения калийных руд.
4. Использование отходов производства в народном хозяйстве.
5. Выведение избыточных рассолов за пределы ВКМКС.
6. Комбинированный подход, то есть использование одновременно нескольких из вышеперечисленных схем.

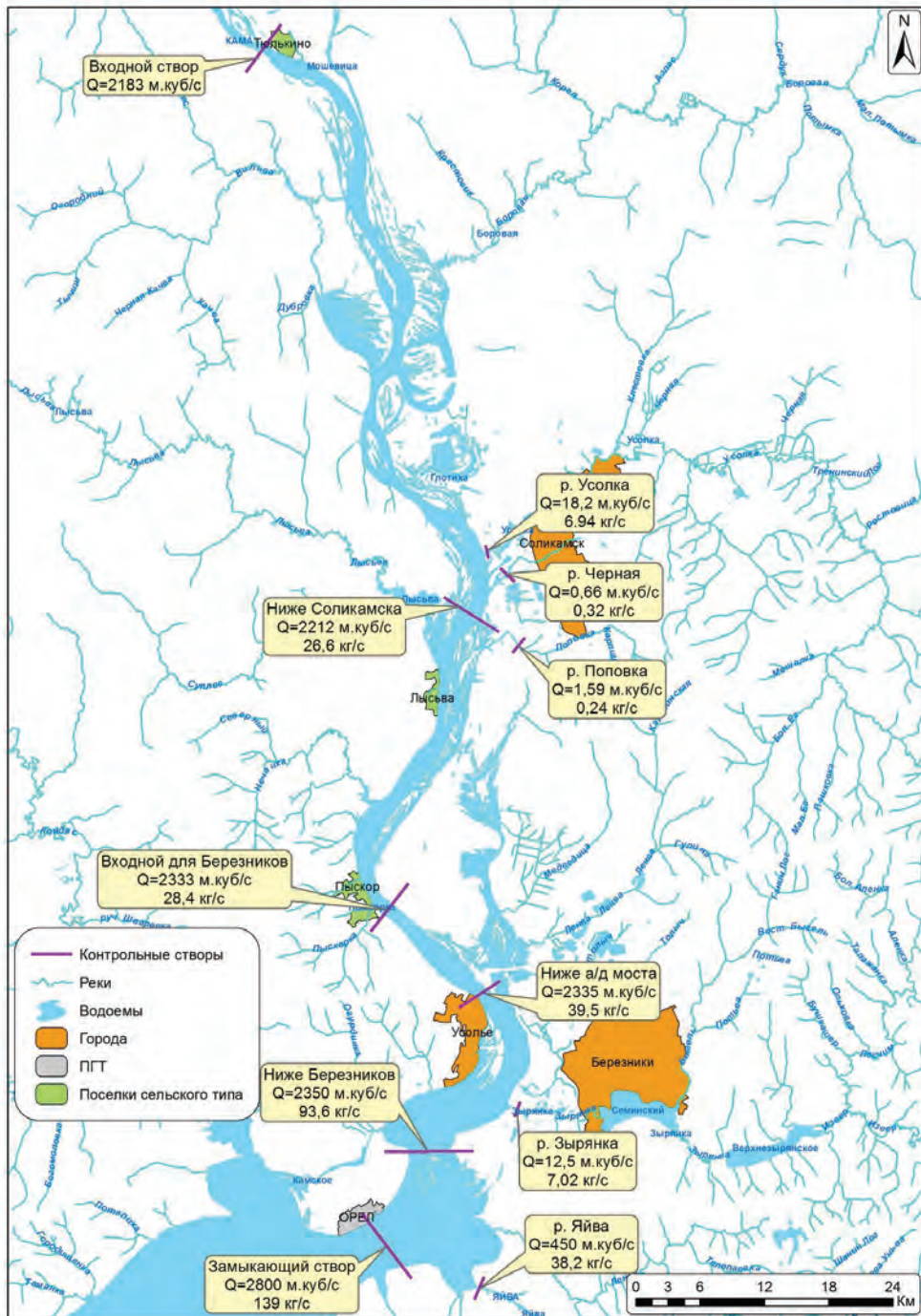


Рис. 2.62. Расчетные значения интенсивности диффузного загрязнения р. Камы, кг/с, в августе 2019 г. ЗВ, оцениваемыми по показателю общая минерализация

2.2.6 Загрязнение озера Неро поверхностными сточными водами г. Ростова

Существенный вклад в загрязнение р. Волги вносит поступление ЗВ с поверхностным стоком, формирующимся на урбанизированных территориях в виде талых и дождевых вод. Современный город представляет собой среду со значительной долей непроницаемых для атмосферной влаги покрытий (покрытия дорог и тротуаров, стоянок автотранспорта, промышленных территорий, крыш зданий). Это приводит к тому, что объем поверхностного стока, формирующегося на территории города, значительно превышает объем поверхностного стока, формирующегося в естественных ландшафтах, где существенная часть влаги впитывается в почву, перехватывается растениями и расходуется на эвапотранспирацию. Поверхностный сток с городских территорий сильно загрязнен. Он содержит все виды загрязнителей: смывную в процессе эрозии почву, биогены, входящие в состав удобрений, применяемых в садах, парках и на газонах, дорожную соль и другие реагенты, а также вещества, входящие в дорожное покрытие, сажу и ядовитые вещества из выхлопных газов транспортных средств и другие загрязнители воздуха, машинное масло с дорог, автомобильных стоянок, мусор и растительный опад [Бегич и др., 2018].

В бассейне Волги расположена треть всех малых городов России (37,5%), что объясняется историческими особенностями заселения и экономического развития территории. Типичным городом для субъектов Российской Федерации, расположенных на территории Волжского бассейна, является малый город. К таким городам относится г. Ростов (Ростов Великий) Ярославской области. Он имеет характерные для малых городов в бассейне р. Волги условия землепользования, состояние городской инфраструктуры и антропогенную нагрузку.

Водоприемником для загрязненного поверхностного стока с территории г. Ростова является озеро Неро, входящее в водосборный бассейн р. Волги, с которой оно соединено через реки Вексу и Которосль. Качество воды в озере Неро определяется количеством загрязнений, содержащихся в водах впадающих в него рек, а также степенью загрязнения/очистки поверхностного стока, поступающего в озеро через систему ливневой канализации г. Ростова. В связи с этим исследование поступления диффузного загрязнения с территории г. Ростова является актуальным для разработки мероприятий по уменьшению загрязнения водных объектов бассейна р. Волги.

Озеро Неро имеет ледниковое происхождение и образовано около 150 тыс. лет назад. Оно вытянуто с юго-запада на северо-восток, имеет грушевидную форму с узкой северной и расширенной южной частью. Площадь водосборного бассейна озера равна 1314 км². Озеро Неро – проточный водоем. Оно принимает в себя воды р. Сары и еще около 20 небольших речек и ручьев (Ворженка, Воксица, Сулость, Селецкая, Воробыловская, Глубокая, Серебрянка, Ваного, Машзиха, Ишня, Кучибожь и др.). Из озера выте-

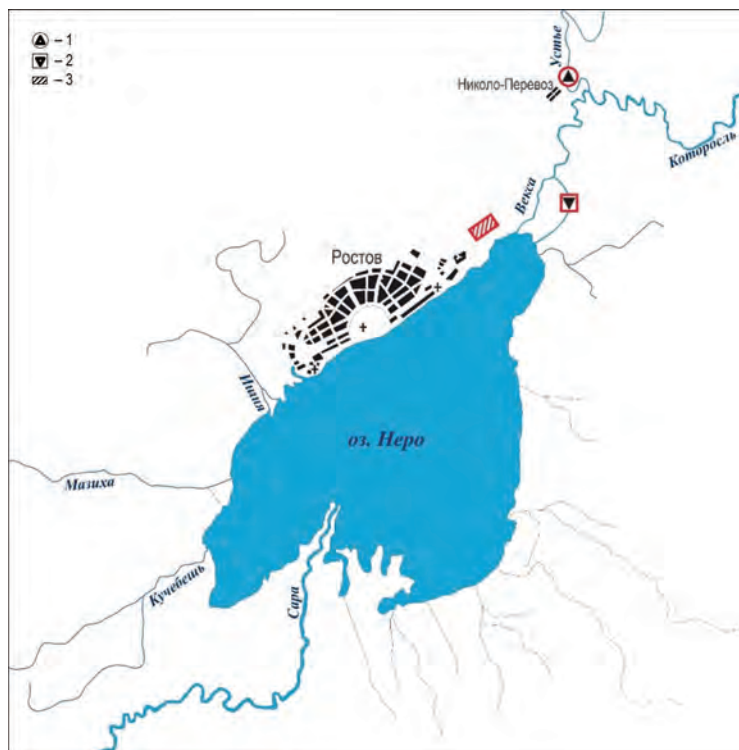


Рис. 2.63. Схема гидрографической сети прибрежной зоны оз. Неро: 1 – водозабор, 2 – гидротехническое сооружение, 3 – очистные сооружения

кает единственная р. Векса, которая после слияния с р. Устье образует р. Которосль, впадающую в р. Волгу в г. Ярославле [Информация об особ...]. Площадь озера составляет 53,8 км² (при межennem уровне) [Ресурсы ..., 1972].

К особенностям гидрологического режима озера Неро относится образование подпорного обратного течения от р. Устье по р. Векса до озера во время весеннего половодья и летне-осенних паводков. Такие кратковременные явления могут вызывать дополнительное повышение уровня воды в озере и затопление прилегающих территорий [Бикбулатов и др., 2003].

Изменение режима проточности и уровня воды озера произошло в конце 1989 г., когда на р. Векса был запущен в эксплуатацию гидроузел со шлюзами, основная задача которого – регулирование объема воды в озере в сезонной динамике (рис. 2.63). Накапливая воду в весенний период для обеспечения нужд мелиорации в летне-осенний период, гидротехническое сооружение изменяет внутригодовое распределение стока из озера, не влияя на его среднегодовой водообмен. Плотина гидроузла в настоящее время не достроена.

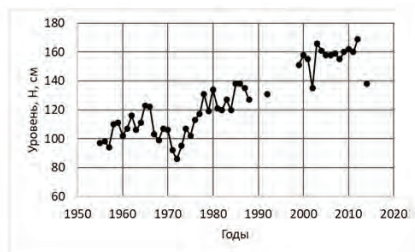


Рис. 2.64. Изменение среднегодового уровня озеро Неро по имеющимся данным наблюдений

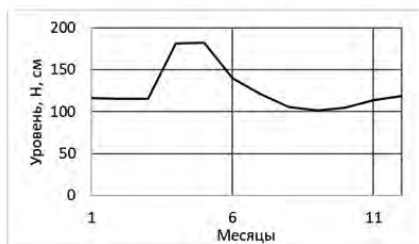


Рис. 2.65. Внутригодовое распределение среднего многолетнего уровня озеро Неро

Свыше 80% площади озера имеет глубину от 0,5 до 1,0 м. Наибольшая глубина зафиксирована в пределах 3–4 м. Основными донными отложениями озера являются илы типа сапропеля, запасы которого в озере составляют сотни миллионов кубометров с толщиной отложений от 5 до 20 м. Озеро находится в эвтрофном состоянии, его воды и донные отложения загрязнены, в особенности на акватории вблизи городской застройки. Современное состояние озера характеризуется деградацией его водной экосистемы и прибрежных ландшафтов, плохими санитарно-эпидемиологическими условиями.

На *рис. 2.64, 2.65* представлены графики изменения среднегодового уровня озера Неро и его внутригодовое распределение.

Химический состав вод озера Неро отличается от большинства озер Ярославского Поволжья повышенным количеством растворенных минеральных компонентов, особенно хлоридов. Повышенное содержание хлоридов связано с близким залеганием богатых солями пород пермского и триасового периода на площади водосбора озера, и, соответственно, наличием большого количества солей в грунтовых водах, а также с поступлениями из антропогенных источников (неканализованный сток с городской территории и сточные воды предприятий пищевой промышленности). В целом воды озера Неро можно отнести к гидрокарбонатно-кальциевому классу, со следующим соотношением ионов: $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$ и $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ [Бикбулатов и др., 2003].

Гидрохимический режим озера характеризуется значительными межсезонными вариациями содержания химических элементов: минимальные

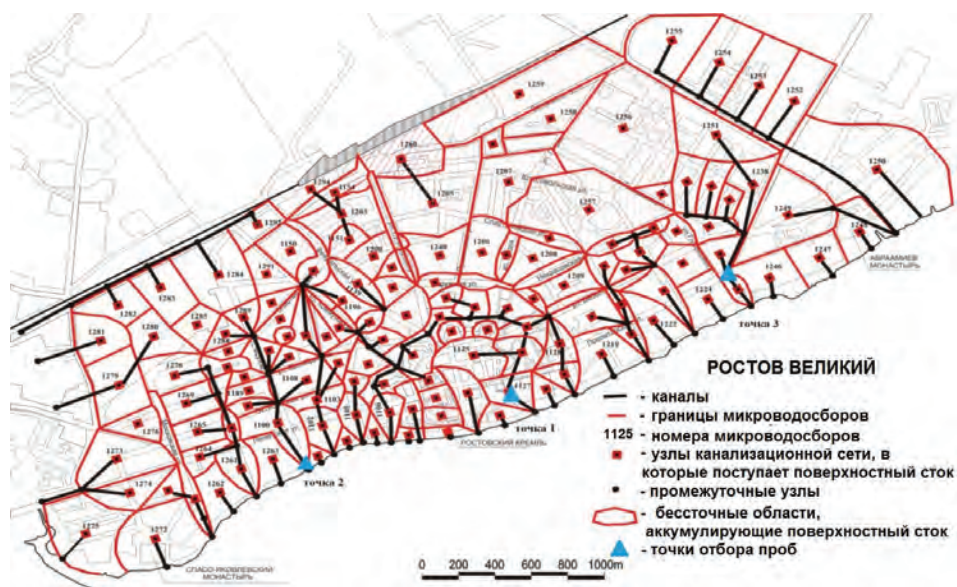


Рис. 2.66. Схема микроводосборов и точки отбора проб на территории г. Ростов

концентрации минеральных элементов приходится на период весеннего половодья, максимальные – на зимнюю межень.

Как отмечено выше, в формировании качества вод в озеро Неро основную роль играет поверхностный сток. С целью оценки диффузного загрязнения, поступающего в озеро с территории г. Ростова, проведены исследования качества воды в трех точках ливневой канализации, расположенных на устьевых участках дренажных систем непосредственно перед сбросом вод в озеро (рис. 2.66). Помимо этого, рассмотрены факторы, влияющие на качество и режим поверхностного стока, выполнены расчеты интенсивности водоотдачи при снеготаянии, а также произведен расчет стока и выноса ЗВ с использованием методов математического моделирования.

В результате проведенных исследований выявлено, что к антропогенным источникам поступления ЗВ в водные объекты в черте г. Ростов относятся недостаточно очищенные (и ли неочищенные) хозяйственно-бытовые, промышленные, поверхностные (ливневые и талые) и дренажные сточные воды, загрязнения в виде дымовых и газовых выбросов в атмосферный воздух, которые частично выпадают с атмосферными осадками и попадают в поверхностный сток, сток с сельскохозяйственных территорий, огородов, садов и парков и т.п.

Основной вклад в загрязнение поверхностного стока вносит неорганизованный, в том числе и хозяйственно-бытовой сток с территории частного сектора города. Централизованная система бытового водоотведения городского поселения Ростов является общесплавной и принимает как хозяй-

ственно-фекальные, так и ливневые сточные воды. По данным [Научно-исследовательская ..., 2014], 79% жилищного фонда не обеспечено централизованной канализацией. Нецентрализованное водоотведение осуществляется по всей территории г. Ростова, в основной своей массе это абоненты частного сектора, где в качестве средств водоотведения используются самые простые сооружения – выгребные ямы. Это практически вся территория, занятая частной застройкой (северная и северо-восточная часть города), и центральная часть города.

К основным источникам диффузного загрязнения в г. Ростове относятся объекты транспортной инфраструктуры – автомобильные заправочные станции, автомойки, станции технического обслуживания, гаражно-строительные кооперативы и автодороги. Стоки с непроницаемых поверхностей этих объектов попадают в ливневую канализацию города или по системе бесхозяйственных неучтенных сточных канав в бессточные области – пруды и мелкие водоемы. Также источником диффузного загрязнения является поступление ЗВ с осадками из атмосферного воздуха. Однако оценить его вклад в общее загрязнение не представляется возможным, так как мониторинг состояния атмосферного воздуха Ярославским ЦГМС в г. Ростове не производится, и нет никаких, даже косвенных, данных о выбросах в атмосферу ЗВ предприятиями города.

Анализ качества вод, поступающих из ливневой канализации г. Ростова в озеро Неро, выполненный в период интенсивного снеготаяния (март–апрель 2019 г.), проводился по следующим показателям: ХПК, БПК₅, взвешенные вещества, Fe_{общ}, нефтепродукты, NH₄, Cl⁻, SO₄²⁻. Выбор указанных веществ произведен экспертным путем на основании литературных источников и анализа антропогенной нагрузки на территорию г. Ростова [Красногорская и др., 2015; Скакальский, 2003; Рекомендации ..., 2014; Пициль, 2013; Барымова, 1982]. Следует отметить, что водосборы дренажных систем, сток которых измерялся в назначенных пунктах наблюдений, являются репрезентативными по отношению к основным типам подстилающей поверхности города.

В результате выявлено превышение содержания ОВ (в т.ч. легкоокисляемых), измеряемых с помощью показателей ХПК и БПК₅, а также общего железа по нормативам для рыбохозяйственных водоемов. Ионы аммония также превышают значения ПДК по всем точкам наблюдений. Это связано с тем, что канализация центральной части города не организована в единую сеть, на отдельных участках ливневая канализация соединена с хозяйственно-бытовой канализацией. Также это связано с наличием на территории г. Ростова довольно значительного количества огородов. Повышенное значение Fe может объясняться наличием большого количества кустарных производств финифти. Превышение ПДК по нефтепродуктам может быть связано с загрязнением стока с территории города от автомобилей и заправок. Содержание Cl⁻ и SO₄²⁻ не превышает нормативных значений для всех точек отбора проб. Не сравнивается с нормативами содержание взвешенных ве-

ществ в связи с тем, что ПДК для них зависит от фонового содержания и категории объекта.

Для расчета стока и выноса ЗВ с поверхности исследуемого водосбора использована моделирующая система SWMM, предназначенная для исследования работы систем ливневой канализации на застроенных территориях [Rossman, Huber, 2015]. Модель водосбора, созданная на основе данной системы, предполагает разбиение изучаемой территории на совокупность элементарных водосборов (под-водосборов), определение (задание) параметров, определяющих потери на инфильтрацию и склоновое задержание, и добегание по поверхности (склоновое добегание). В данном случае каждый из элементарных водосборов (рис. 2.66) представлен в виде двух склонов, смыкающихся в тальвеге.

Модель формирования поверхностного стока на застроенной территории включает расчет стока с элементарных водосборов по заданным параметрам потерь с учетом различной степени застройки и его трансформацию по системам естественных русел и каналов ливневой канализации. Для расчета поверхностного стока с территории г. Ростова в период снеготаяния приняты величины водоотдачи из снежного покрова, рассчитанные с использованием данных наблюдений на метеостанции Ростов. Пространственное распределение слоя стока весеннего половодья представлено на рис. 2.67.

Описание смыва с территории города проводится с использованием экспоненциального соотношения, учитывающего коэффициент смыва, интенсивность стока с водосбора, экспоненту смыва и количество накопленного на поверхности ЗВ [Rossman, Huber, 2015]. Его масса рассчитывается на основании максимально возможного накопления ЗВ, константы скорости накопления и времени накопления [Rossman, Huber, 2016].

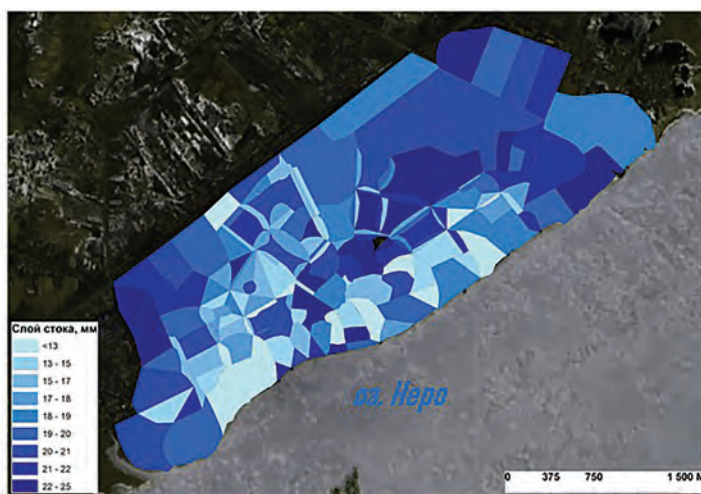


Рис. 2.67. Слой стока весеннего половодья

Выходом модели являются расходы воды в заданных точках системы. Для калибровки модели поверхностного стока г. Ростова использовались расходы воды, измеренные в точке № 3, за период с 28 марта по 10 апреля. Полученные в результате расчетов смоделированные данные хорошо соответствуют наблюдаемым величинам стока. Данные, полученные в остальных точках, использовались в качестве независимого материала для верификации модели. Калибровка блока качества воды модели SWMM произведена за счет подбора четырех параметров: максимально возможного накопления ЗВ, константы скорости накопления, коэффициента смыва и экспоненты смыва. Из-за ограниченности данных наблюдений качество калибровки оценивалась визуально с помощью графиков, на которых были совмещены рассчитанные и измеренные концентрации ЗВ.

В результате моделирования получены данные о стоке воды в узлах и каналах дренажной сети, объемах поверхностного стока с каждого водосбора как в определенный момент времени, так и за весь моделируемый период. В итоге расчета диффузного стока получены ряды концентраций и объемов стока ЗВ в узлах и каналах сети, а также рассчитан смыв веществ с каждого элементарного водосбора.

Расчет поступления ЗВ с территории г. Ростова за период половодья 2019 г. показывает, что суммарный сток SO_4^{2-} составляет 22 т, Cl^- – 15.8 т, взвешенных частиц – 14.4 т, ХПК – 9.9 т, BPK_5 – 2.6 т, NH_4^+ – 0.8 т, $\text{Fe}_{\text{общ}}$ – 0.2 т, нефтепродуктов – 0.05 т. В этом случае почти все загрязнения смываются с 70% стока. Пространственное распределение ряда ЗВ (взвешенные вещества, нефтепродукты, сульфаты) и ХПК на территории г. Ростова продемонстрировано на *рис. 2.68–2.71*. Таким образом, объединение моделей стока

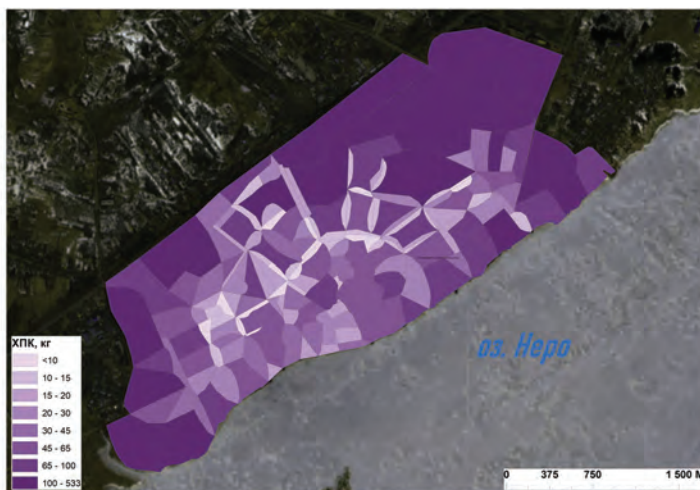


Рис. 2.68. Пространственное распределение ХПК по территории г. Ростов за период половодья 2019 г.

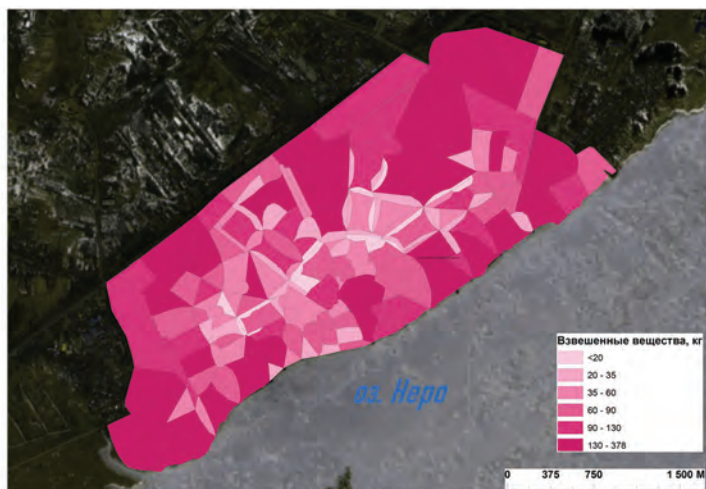


Рис. 2.69. Пространственное распределение взвешенных веществ по территории г. Ростова за период половодья 2019 г.

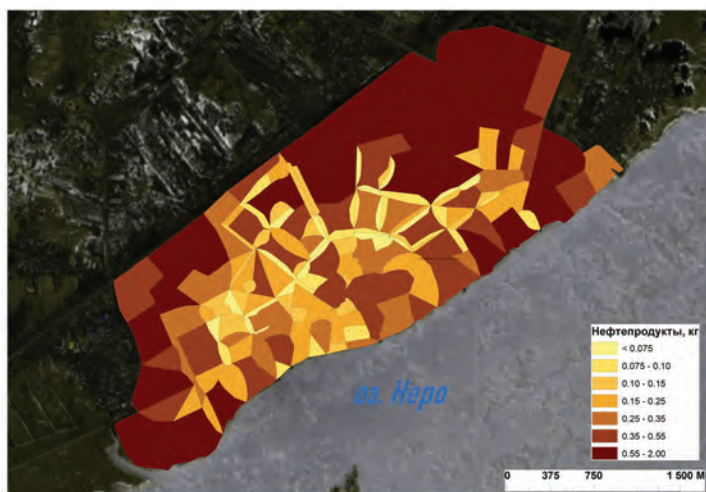


Рис. 2.70. Пространственное распределение нефтепродуктов по территории г. Ростова за период половодья 2019 г.

и смыва ЗВ с территории позволило рассчитать количество поступающих веществ с диффузным стоком покомпонентно.

Проведенные исследования показывают, что для оценки и прогноза диффузного стока необходимо сочетание экспериментальных работ и математического моделирования гидрологических и гидрохимических процессов на приемлемом уровне воспроизведения основных механизмов переноса. Апробация такого подхода на территории г. Ростова свидетельствует, что моделирующая система SWMM, предназначенная для исследования работы

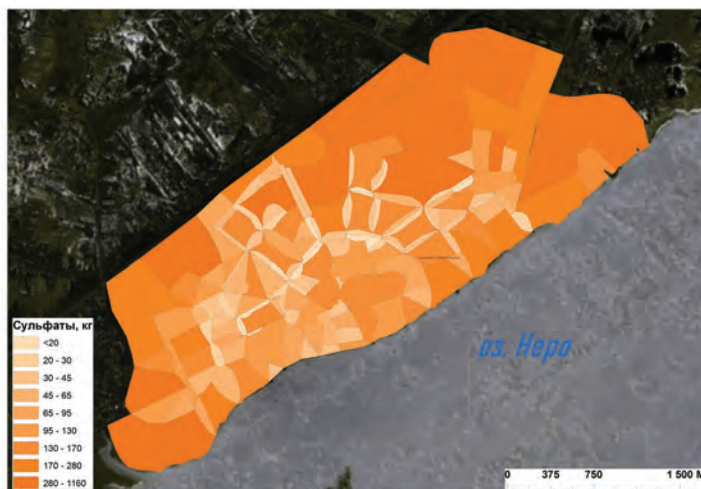


Рис. 2.71. Пространственное распределение сульфатов по территории г. Ростова за период половодья 2019 г.

систем ливневой канализации на застроенных территориях, может использоваться для расчета стока воды и выноса ЗВ с поверхности городских территорий.

2.2.7 Аэротехногенное загрязнение тяжелыми металлами ручья в зоне выбросов металлургического предприятия

Металлургические комплексы отличаются масштабным воздействием на окружающую среду, охватывающим все ее компоненты. Одним из существенных источников загрязнения почв и поверхностных вод являются выбросы в атмосферу. Несмотря на соблюдение нормативов на границах санитарно-защитной зоны, выбросы предприятий зачастую приводят к накоплению ЗВ в почвах и в снежном покрове не только на промышленных площадках самих предприятий, но и на прилегающих территориях, на расстоянии до 10–15 км по направлению доминирующих в данной местности ветров. Загрязнение почв и снега, в свою очередь, приводит к негативному воздействию на качество вод водотоков, находящихся вблизи предприятия.

В качестве пилотного водного объекта, находящегося в зоне техногенного воздействия, выбран ручей без названия – приток р. Чусовой, формирующий сток на территории, загрязненной выбросами в атмосферу Среднеуральского металлургического завода – СУМЗа, на востоке-юго-востоке от основных корпусов предприятия (рис. 2.72). Общая длина водотока составляет 3,1 км, площадь водосбора – 3,46 км².



Рис. 2.72. Фрагмент водосбора безымянного ручья близ СУМЗа и расположение контрольного створа

Сток в ручье формируется в основном после весеннего снеготаяния и в период выпадения дождей. В настоящее время, после модернизации предприятия⁸, на водосборе ручья происходит восстановление древесной растительности, которая представлена в основном березами 3–4-летнего возраста. Почвы водосбора смыты до горизонта «В». Травяно-кустарничковый ярус практически отсутствует (рис. 2.73). Важно отметить, что водосбор ручья расположен в зоне наибольшего воздействия предприятия, в направлении доминирующих на Среднем Урале в зимний период ветров: на северо-восток и восток от источника выбросов (рис. 2.74).

Воды ручья, формирующего сток в зоне влияния металлургического комплекса, поступают в р. Чусовую, оказывая влияние на качество ее вод. Водосбор данного ручья составляет лишь малую часть водосбора р. Чусовой, находящегося в зоне аэротехногенного загрязнения. И хотя поступление металлов и сульфатов с водами ручья – незначительная часть ЗВ, поступающих в р. Чусовую с загрязненной части ее водосбора, исследование качественных и количественных характеристик вод ручья дает представление о закономерностях формирования рассредоточенного стока на территории водосборов, находящихся в зоне влияния металлургических заводов.

⁸ К настоящему моменту на СУМЗе выполнено техническое перевооружение во всех основных цехах предприятия, завершена реализация программы, направленной на снижение выбросов ЗВ в атмосферный воздух. К концу 2010 г. достигнуты и соблюдаются нормативы предельно допустимых выбросов по всем ЗВ, выбрасываемым предприятием.



Рис. 2.73. Внешний вид участка течения ручья в зоне воздействия СУМЗа (лето 2018 г.)

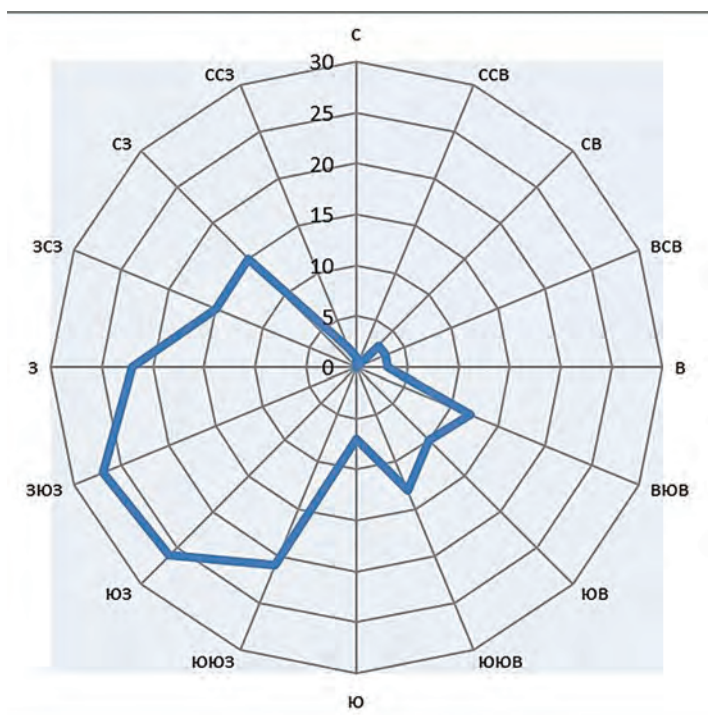


Рис. 2.74. Роза ветров за зимний период 2017-2018 гг. (по данным Уральского управления УГМС)

Химический анализ проб почвы (табл. 2.16) показал, что в ее слое толщиной 10–15 см в результате седиментации ЗВ из атмосферы накоплено значительное количество металлов и серы. Это делает почвы токсичными для растительности и затрудняет ее восстановление даже в условиях снижения выбросов предприятия.

Таблица 2.16

Содержание металлов в почвах водосбора ручья, находящегося в зоне влияния металлургического комплекса

Ингредиент	Валовое содержание, мг/кг	ПДК вал. в почве*	Условный мировой кларк
Железо	10000±3000	н/у	1430
Кадмий	1,7±0,6	н/у	0,013
Медь	546±164	н/у	20
Натрий	8550±2570	н/у	–
Свинец	280±70	32,0	10
Сера	629±126	160	–
Цинк	285±85	н/у	50

*Примечания:

1) Значения ПДК (валовое) в почве указаны в соответствии с [ГН 2.1.7.2041–06];

2) н/у – ПДК не установлена.

Оценить масштабы воздействия на водосбор выбросов предприятия можно также по концентрации ЗВ в снегу перед снеготаянием (табл. 2.17). Полевые обследования водосбора проводились в 2018–19 гг.

Таблица 2.17

Средние концентрации металлов в снежном покрове перед снеготаянием

Год	Форма металла	Концентрация, мг/дм ³						
		Fe	Mn	Zn	Cu	Cd	Pb	Cr
2018	растворенные	1,08	0,032	0,313	0,108	0,0029	0,011	0,0063
	взвеси	71,6	0,30	6,89	4,36	0,0101	0,289	0,0167
2019	растворенные	0,07	0,009	0,187	0,024	–	0,004	0,018
	взвеси	2,80	0,08	0,486	0,718	0,003	0,072	0,014

В 2018 г. объем ЗВ в снежном покрове рассчитывался целиком для всего водосбора ручья, исходя из того, что запасы воды в снеге перед снеготаянием составили 60 мм. В 2019 г. объем загрязнений считался как для всего

водосбора, так и для отдельных его участков, для чего водосбор был разбит на четыре части, в пределах каждого из которых были отдельно определены концентрации металлов и запасы воды в снеге. Средневзвешенные запасы воды в снеге по всему водосбору составили 79 мм (табл. 2.18).

Таблица 2.18

Запасы воды в снеге перед снеготаянием по элементарным частным водосборам

Номер элементарного частного водосбора	Площадь частного водосбора, км ²	Запасы воды в снеге перед снеготаянием, мм	Расстояние от источника выбросов, км
1	0,505	87,9	1,5
2	0,88	88,3	2,1
3	1,01	77,9	2,7
4	1,07	66,64	3,6

Запасы металлов на водосборе ручья перед снеготаянием в створе, где проводились гидрохимические наблюдения (0,505 км²), и на всем водосборе (3,46 км²) за 2019 г. приведены в табл. 2.19 и табл. 2.20, соответственно.

Таблица 2.19

Накопление металлов в снежном покрове на водосборе ручья у СУМЗа до створа наблюдений

Ингредиент		Концентрация, мг/дм ³	Масса, кг
Fe	Растворенные формы	0,069	3,06
	Суммарно	2,9	128,79
Cd	Растворенные формы	0,001	0,04
	Суммарно	0,0028	0,12
Mn	Растворенные формы	0,0122	0,54
	Суммарно	0,099	4,40
Cu	Растворенные формы	0,025	1,11
	Суммарно	0,68	30,20
Pb	Растворенные формы	0,003	0,13
	Суммарно	0,068	3,02
Cr	Растворенные формы	0,016	0,71
	Суммарно	0,031	1,38
Zn	Растворенные формы	0,195	8,66
	Суммарно	0,71	31,53

Таблица 2.20

Накопление металлов в снежном покрове на всем водосборе ручья у СУМЗ

Ингредиент		Масса, кг
Fe	Растворенные формы	19,0
	Суммарно	779
Cd	Растворенные формы	0,27
	Суммарно	0,80
Mn	Растворенные формы	2,41
	Суммарно	24,0
Cu	Растворенные формы	6,59
	Суммарно	204
Pb	Растворенные формы	1,18
	Суммарно	21,0
Cr	Растворенные формы	4,65
	Суммарно	8,47
Zn	Растворенные формы	50,6
	Суммарно	182

Оценка роли аэротехногенно загрязненного водосбора в формировании качества вод ручья была проведена на основе экспедиционных наблюдений за расходами и качеством вод в створе, расположенном в 1,28 км от устья и замыкающим элементарный частный водосбор с площадью 0,505 км² (см. табл. 2.19). С использованием наблюденных расходов были построены гидрографы стока пилотного водотока, что позволило рассчитать вынос ЗВ с водами ручья в период весеннего половодья и летне-осенней межени. Концентрации ряда металлов в стоке ручья в период наблюдений в сотни и тысячи раз превышали значения ПДК как рыбохозяйственные, так и хозяйственно-питьевые, в том числе по металлам, относящимся ко 2-му классу опасности: кадмию и свинцу. Ориентировочные гидрографы стока, построенные по проведенным замерам, и наблюденные концентрации ЗВ в период половодья 2019 г. приведены ниже (рис. 2.75).

Формирование химического состава вод ручья происходит под влиянием постоянного поступления ЗВ на водосбор из атмосферы, а также в результате выщелачивания металлов, накопленных в почвах за время деятельности предприятия.

Динамику концентраций металлов в стоке с ручья можно объяснить наличием различных составляющих гидрографа стока половодья. На первом этапе снеготаяния сток в ручье формируется в результате водоотдачи из сне-

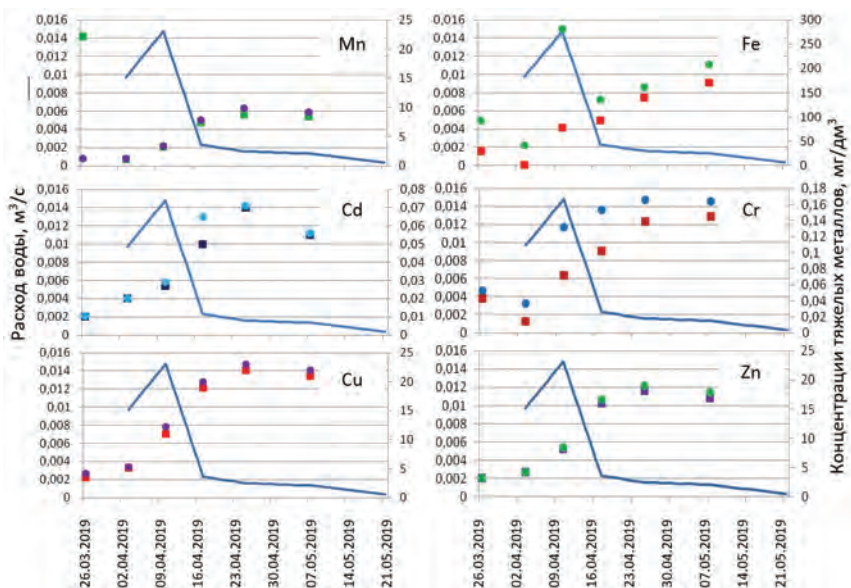


Рис. 2.75. Гидрограф стока весеннего половодья ручья в районе СУМЗа (сплошная линия) и динамика концентраций тяжелых металлов (растворенные формы – квадраты и общее содержание – круги)

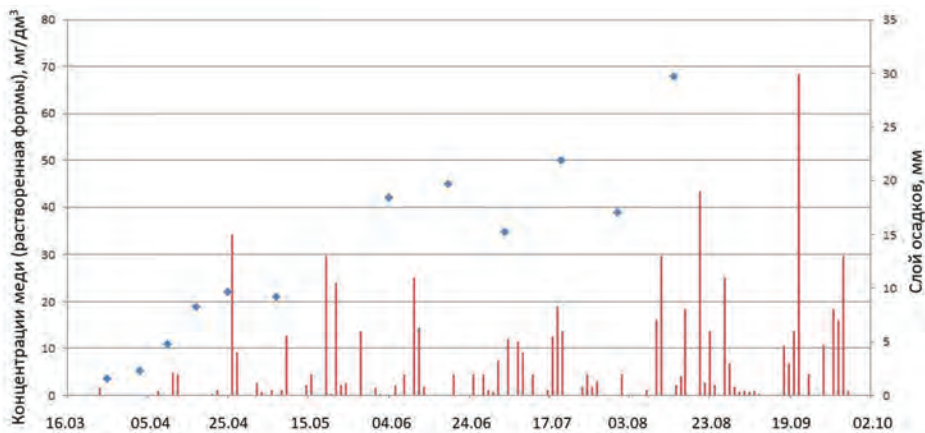


Рис. 2.76. Совмещенный график изменения концентраций растворенных форм меди (синие ромбы) и хода осадков на водосборе ручья в районе металлургического завода

га, в котором происходило накопление металлов в течение зимы. Затем сток формируется за счет ручейковой сети, имеющей непосредственный контакт с почвами водосбора, содержащими высокие концентрации металлов, накопленные за годы функционирования предприятия. В результате можно от-

метить повышение концентраций металлов в стоке на спаде половодья. Определяющее влияние почв прослеживается и в течение остальной части года, в пользу чего говорит продолжающийся рост концентраций металлов в течение остальной части теплого периода 2019 г. (рис. 2.76).

Результаты расчетов выноса тяжелых металлов для весеннего половодья и остальной теплой части 2019 г. приведены в табл. 2.21.

Таблица 2.21

Масса выноса и удельный вынос металлов на водосборе ручья у СУМЗа

Металл	в период весеннего половодья			в период летней межени		
	Среднее значение концентрации, мг/дм ³	Масса выноса, кг	Удельный вынос, кг/га	Среднее значение концентрации, мг/дм ³	Масса выноса, кг	Удельный вынос, кг/га
Fe	145	2520	49,3	445	984	19,3
Cu	20,0	347	6,80	47,4	105	2,06
Zn	16,8	290	5,68	44,4	41,6	1,93
Mn	7,32	127	2,48	18,8	98,2	0,815
Cr	0,159	2,75	0,054	0,357	0,79	0,015
Cd	0,049	0,85	0,017	0,144	0,32	0,006

О влиянии выноса ЗВ с водосбора р. Чусовой, находящегося в зоне влияния выбросов СУМЗа, можно судить и по динамике исследуемых ингредиентов в реке ниже зоны влияния выбросов металлургического комплекса (рис. 2.77).

Анализы были отобраны выше точки сброса в р. Чусовую сточных вод предприятия, что позволяет проследить влияние на качество вод рассредоточенного стока с водосбора, загрязненного аэротехногенными выбросами. Как следует из графиков, концентрации всех контролируемых ингредиентов повышаются с ростом расходов в водном объекте и снижаются на спаде половодья.

Выявленная динамика характерных ЗВ свидетельствует о том, что рассредоточенный загрязненный сток с водосбора определяет формирование качества воды в р. Чусовой в период половодья, несмотря на наличие точечного сброса данных ингредиентов предприятиями, расположенными выше по течению.

Мероприятия по снижению негативного влияния диффузного стока с аэрогенно загрязненной территории можно разбить на 2 группы:

- 1) мероприятия, проводимые на медеплавильном предприятии, направленные на снижение выбросов ЗВ в атмосферу;
- 2) мероприятия, проводимые на загрязненной водосборной территории, направленные на снижение поступления ЗВ в водный объект.

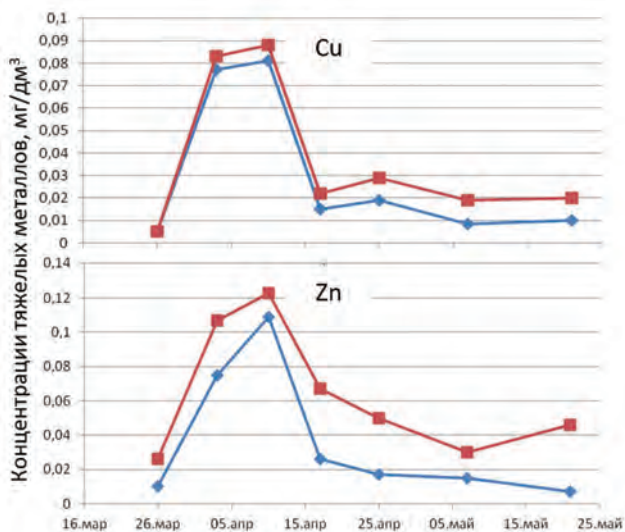


Рис. 2.77. Динамика концентраций металлов в период весеннего половодья 2019 г. в р. Чусовой ниже СУМЗа

Снизить негативное воздействие стока ручья на воды р. Чусовой можно с помощью рекультивации водосборной территории ручьев, формирующих сток в зоне воздействия медеплавильного завода, которая должна включать четыре блока мероприятий:

- снижение слоя стока с аэрогенно загрязненной территории;
- сорбция металлов, содержащихся в склоновом стоке с загрязненной территории;
- снижение токсичности почв и повышение их плодородия;
- залужение и посадка лесо-кустарниковой растительности.

Два первых блока мероприятий можно совместить в один путем создания траншей, расположенных под углом к линиям тока и руслу реки, заполненных хорошо фильтрующим материалом и обладающим значительной сорбционной емкостью по отношению к металлам.

Для снижения токсичности почв необходима засыпка наиболее загрязненной части водосбора почвенным слоем мощностью 15–20 см с дальнейшим высевом трав с целью формирования дернового слоя, повышающего аккумулирующую емкость водосбора и снижающего эрозионные процессы на нем.

В качестве засыпки траншей могут быть использованы природные сорбенты, обладающие значительной сорбционной емкостью по отношению к металлам (табл. 2.22).

Таблица 2.22

Характеристики природных сорбентов Свердловской области

Вид сорбента	Сорбционная емкость, ммоль/г	Удельный вес, кг/м ³	Стоимость, руб./м ³	Месторасположение
Опал-кристаллитовые породы (диатомиты и трепелы)	0,044	2100–2350	4975	Суходожский район (Суходожское месторождение), Камышловский район
Цеолит	0,11	2370	28000	Камышловский район, Приполярный Урал
Кремнезём – опока	0,03	2300	10500	Суходожское месторождение
Торф	1,12	200–400	500	Ачитский район, г. Первоуральск, г. Березовский (Кузьминское месторождение), г. Верхняя Пышма

Как видно из таблицы, наиболее доступным и эффективным материалом для засыпки траншей является торф.

Ориентировочная стоимость материалов для рекультивации водосбора ручья с целью снижения негативного воздействия на поверхностные воды приведена ниже, в *табл. 2.23*.

Таблица 2.23

Стоимость материалов для рекультивации водосбора ручья в зоне влияния выбросов металлургического комплекса

Операция	Материал	Требуемое количество	Стоимость, тыс. руб.
1. Засыпка траншей	Торф	800 м ³	400
2. Засыпка части водосбора плодородным грунтом	Плодородный грунт (гумусовый горизонт почв)	200 тыс. м ³	60000
3. Посев трав	Травосмесь для восстановления нарушенных земель DR06. Норма высева 25–35 кг/га	2500 кг	353
Итого			60753

Оценивая эколого-экономическую эффективность водоохраных мероприятий, следует отметить, что в рассматриваемом случае суммарный размер вреда, причиненного водному объекту в результате поступления металлов, а также почвам и лесу как объектам охраны окружающей среды, составляет более 12,5 млрд. руб.

ГЛАВА 3

КОНЦЕПЦИЯ ПО СНИЖЕНИЮ ДИФFUЗНОГО ЗАГРЯЗ- НЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В БАССЕЙНЕ ВОЛГИ

Согласно данным официальной государственной отчетности как федерального, так и регионального уровней⁹ большинство водотоков и водоемов, входящих в состав Волжского бассейна, характеризуются 3 и 4 классами качества воды (вода «загрязненная» и «грязная»).

Общее число случаев экстремально высокого и высокого загрязнения поверхностных пресных вод в бассейне р. Волги за 2016 и 2017 гг. составило 988 и 939 соответственно, что значительно опережает значение этого показателя для остальных крупных речных бассейнов (около 30–35 % общего числа случаев по Российской Федерации). Лидирующие позиции в этом отношении занимали (2016 г.): Кировская, Московская, Нижегородская, Рязанская, Самарская, Свердловская, Тульская, Челябинская области; Пермский край; Удмуртская республика. В 2017 году к ним присоединились Астраханская, Владимирская, Тверская и Ульяновская области.

Вклад природной составляющей в загрязнение водных объектов в бассейне Волги в целом относительно невелик и, как правило, редко сопоставим с антропогенным влиянием.

Высокое природное содержание характерно лишь для некоторых показателей, таких, как железо, марганец, органика и в отдельных случаях для взвешенных веществ. Например, к числу основных природных источников органического вещества относятся болота, массивы которых характерны для Тверской, Ярославской, Владимирской, Нижегородской, Кировской и ряда других областей, относящихся к Волжскому бассейну.

Под главными негативными факторами традиционно понимались сбросы недостаточно очищенных сточных вод предприятий промышленного и коммунального сектора, а также поступление загрязнений от объектов накопленного экологического ущерба.

⁹ См., например, Ежегодники «Качество поверхностных вод Российской Федерации», Обзоры состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации, Государственные доклады о состоянии и об охране окружающей среды субъектов РФ, относящихся к территории Волжского бассейна.



Рис. 3.1. Объем сброса сточных вод в бассейне р. Волги (км³)

В связи с этим до недавнего времени к приоритетным направлениям водоохранной политики в нашей стране относилось управление сбросами и повторное использование сточных вод, т.е. регулирование источников «сосредоточенного» загрязнения¹⁰. Например, динамика объемов загрязненных сточных вод (сосредоточенное загрязнение) по бассейну р. Волги показывает снижение этого показателя более, чем в 2 раза по сравнению с началом 1990-х годов.¹¹

Однако, несмотря на определенные успехи в регулировании сосредоточенного загрязнения и общее снижение объемов сброса сточных вод (рис. 3.1), в том числе в результате спада промышленного производства в 1990-е гг., такой односторонний подход не принес ожидаемого эффекта. Как свидетельствуют данные государственных докладов, существенного улучшения экологического состояния водных объектов и качества волжской воды не произошло. На рис. 3.2 приведен пример, косвенно иллюстрирующий значимое влияние источников диффузного загрязнения, а именно – стабильные или увеличивающиеся в ряде случаев средние годовые концентрации загрязняющих веществ на фоне уменьшения массы сбросов для тех же веществ по данным государственной статистики [Государственные..., 2005-17; Качество..., 2005-17].

Одна из основных причин неудовлетворительного состояния водных экосистем этой реки заключается в недостаточном внимании к третьей составляющей, определяющей качество природной воды, а именно – к рассредоточенному (диффузному) загрязнению.

¹⁰ См., например, Постановление ЦК КПСС, Совмина СССР от 13.03.1972 № 177 «О мерах по предотвращению загрязнения бассейнов рек Волги и Урала неочищенными сточными водами»; Постановление ЦК КПСС, Совмина СССР от 19.01.1988 № 64 «О первоочередных мерах по улучшению использования водных ресурсов в стране»; Постановление Правительства РФ от 24.04.1998 № 414 «О Федеральной целевой программе «Оздоровление экологической обстановки на реке Волге и ее притоках, восстановление и предотвращение деградации природных комплексов Волжского бассейна на период до 2010 года» (Программа «Возрождение Волги»)».

¹¹ Приведено по данным Российских статистических ежегодников за 2000–2018 гг.

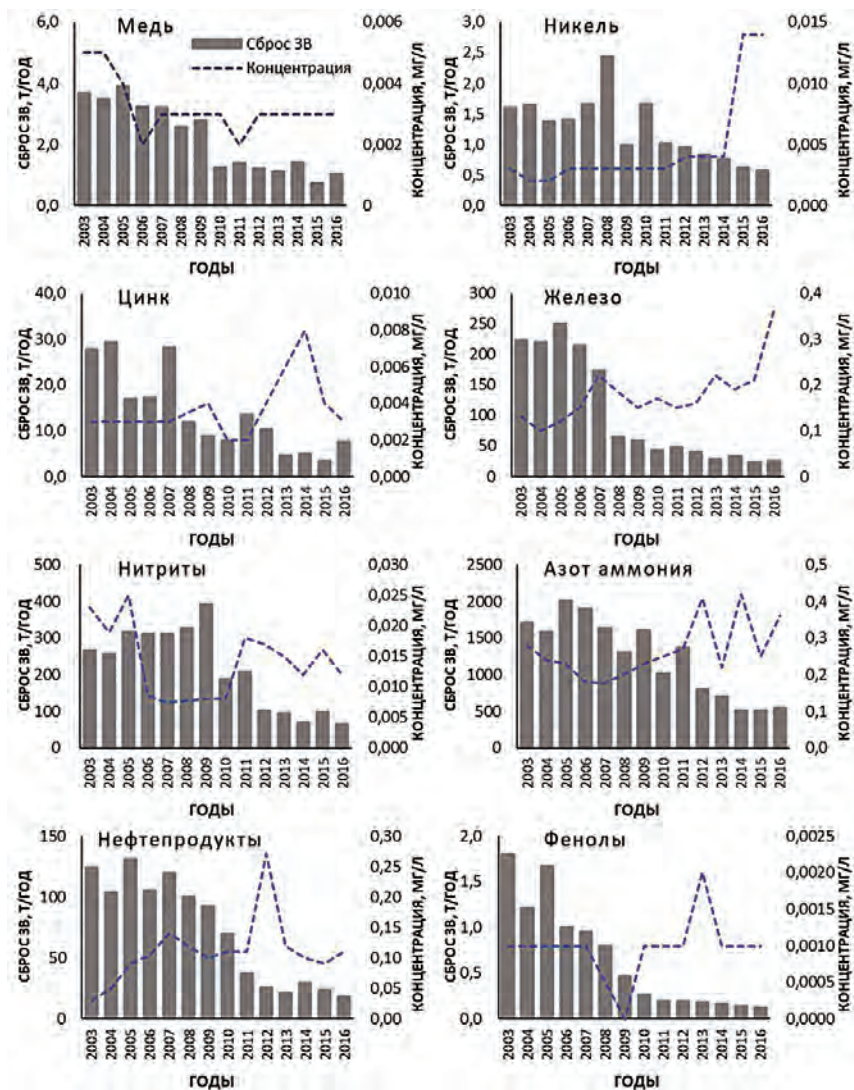


Рис. 3.2. Динамика сбросов от сосредоточенных источников и концентраций ЗВ (бассейн р. Белой – приток Нижнекамского вдхр.)

Для более полного исследования этого вопроса Министерством природных ресурсов РФ было инициировано выполнение двухлетней программы специальных поисковых работ в рамках приоритетного государственного проекта «Сохранение и предотвращение загрязнения р. Волги»¹² с привле-

¹² Паспорт приоритетного проекта «Сохранение и предотвращение загрязнения реки Волги» (утв. президиумом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и приоритетным проектам, протокол от 30.08.2017 № 9).

чением ведущих отечественных научных и научно-исследовательских организаций. Материалы этих работ положены в основу настоящей Концепции.

На репрезентативных участках бассейна р. Волги для характерных водных объектов, расположенных в разных географических условиях и испытывающих различную антропогенную нагрузку, были организованы специальные экспедиционные исследования и выполнена интегральная оценка поступления ряда ЗВ от диффузных источников.

Результаты этих исследований, а также обобщение результатов изысканий, выполненных в пределах Волжского бассейна за предыдущие годы, показывают, что объемы поступления таких ЗВ, как нефтепродукты, органические вещества, взвеси, ряд тяжелых металлов (цинк, медь) от диффузных источников превышают (в отдельных случаях многократно) соответствующие объемы от источников сосредоточенного загрязнения. В наиболее выраженном виде такая ситуация характерна для городских территорий и зон влияния промышленных предприятий. Для сельскохозяйственных угодий аналогичная картина складывается для объемов поступления биогенных элементов (азота и фосфора).

Таким образом, несмотря на ограниченный срок проведения поисковых работ в рамках упомянутого выше проекта и крайний дефицит такого рода исследований в нашей стране в целом, становится вполне очевидным, что для предотвращения дальнейшей деградации водных объектов в бассейне р. Волги и полноценного решения вопросов ее экологического состояния необходимы сдвиги парадигмы водоохранной политики в сторону диффузного загрязнения.

3.1 ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ, БАЗОВЫЕ ПРИНЦИПЫ РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ

Разработанная *Концепция*:

- определяет общие цели, базовые принципы и приоритетные направления реализации государственной политики по планомерному снижению поступления в водные объекты ЗВ с антропогенно измененных водосборных территорий;
- представляет методологическую основу оценки негативного воздействия рассредоточенных (диффузных) источников загрязнения на качество воды (поверхностных водных объектов) и выбора приоритетных мер по его предотвращению;
- обозначает основные направления развития нормативно-правового, методического, информационного и организационного обеспечения регулирования хозяйственной деятельности на водосборных территориях.

Результатом внедрения Концепции должно стать формирование системы взглядов и долгосрочной государственной политики в области регулирования источников диффузного загрязнения, правовых и методических основ

водоохранной деятельности в целях обеспечения измеримого улучшения санитарно-экологического состояния поверхностных водных объектов в бассейне р. Волги и ее основных притоков.

Общими целями Концепции являются:

- подготовка предложений по совершенствованию законодательной базы РФ, внесению необходимых изменений и дополнений в действующие нормативные правовые и нормативные методические акты в отношении регулирования диффузного загрязнения;
- разработка подходов к мониторингу диффузного загрязнения и подготовка предложений по методическому обеспечению рабочих программ разного уровня (региональных, муниципальных, отдельных субъектов хозяйственной деятельности), направленных на оценку воздействия и регулирование источников диффузного загрязнения (объектов) разного масштаба;
- разработка рекомендаций по организации, планированию и реализации природоохранных мероприятий, применению критериев оценки эффективности водоохраных программ, направленных на снижение диффузного загрязнения и улучшение экологического состояния водных объектов, подверженных такому загрязнению;
- подготовка предложений по разработке механизмов и показателей эффективности внедрения Концепции в экономической и экологической сферах на примере программ по снижению диффузного загрязнения на пилотных объектах в бассейне р. Волги.

Конкретные природоохранные программы для водных объектов в бассейне р. Волги целесообразно проводить в несколько этапов. Первый этап (на период 2020–2025 гг.) предполагает реализацию программ мероприятий для пилотных водных объектов, рекомендованных на основе проведенных в 2018–19 гг. рекогносцировочных экспедиционных исследований в рамках приоритетного проекта «Сохранение и предотвращение загрязнения реки Волги».

Второй этап осуществляется по итогам тщательного анализа результатов первого этапа. В рамках второго этапа (после 2025 г.) накопленный положительный опыт рекомендуется тиражировать для 2–3 водных объектов, выбранных в пределах каждого из 38 субъектов РФ, частично или полностью расположенных в пределах Волжского бассейна.

Концепция может быть использована при разработке программ аналогичной направленности для других речных бассейнов в Российской Федерации.

Базовые принципы, на которые следует ориентироваться при формировании государственной политики по снижению диффузного загрязнения, приведены ниже.

1. Реки, их поймы и водосборы должны рассматриваться как единое целое.

Как было показано в разделе 1.1, особенности диффузного загрязнения таковы, что ухудшение качества воды и экологического состояния каждой конкретной реки или водохранилища в значительной мере определяется интенсивностью хозяйственного освоения ее водосбора, включая прибрежные и пойменные участки, склоны речных долин и водоразделы. Освоение водосборных территорий речного бассейна сопровождается существенным видоизменением естественных природных ландшафтов и сложившихся экосистем. Этот процесс сопровождается трансформацией существующих потоков вещества и энергии, в результате которой, как правило, цепочки, по которым движутся эти потоки сильно сокращаются, а существующие в системе связи нарушаются. Для их максимального восстановления внедрение водоохраных мероприятий (программ) целесообразно предусматривать одновременно для трех составляющих и проводить по следующей цепочке: водосбор – пойма (водоохранная зона) – водный объект. В противном случае нужно быть готовым к более высоким рискам не достигнуть требуемого результата или к скорой регрессии после его достижения.

2. Улучшение экологического состояния водного объекта должно осуществляться прежде всего через регулирование хозяйственной деятельности на его водосборе.

Антропогенное нарушение водосбора происходит в результате сведения лесов, смены землепользования, неправильной агротехники ведения сельского хозяйства, осушения и орошения земель, изменения структуры почвенного покрова, эрозионных процессов, увеличения рекреационной нагрузки, использования устаревших технологий производства и многих других факторов. Все это приводит не только к изменению режима и величины стока и зональных особенностей гидрохимического режима водных объектов, но и к резкому снижению самоочищающей способности водосбора с одновременной деградацией его буферной емкости. Разница между нагрузкой на водосбор и его буферной емкостью определяет степень уязвимости водосбора. Однако хозяйственная активность сама по себе не является негативным моментом. При одном и том же типе освоения земель в одних случаях будет происходить интенсивное загрязнение природных вод, а в других – это загрязнение может быть практически полностью исключено или максимально снижено.

В последнем случае решающим фактором являются превентивные меры, включающие водоохраные мероприятия, внедрение экологически ориентированных практик землепользования и технологических процессов, а также общее организационно-правовое поле, в котором действует хозяйствующий субъект.

3. Приоритет совершенствования природоохранного и водоохранного законодательства над осуществлением краткосрочных водоохраных программ.

Наличие научного обоснования значимости диффузного загрязнения, технических средств и экономических возможностей по внедрению наилучших технологий и проведению водоохраных мероприятий еще не является залогом того, что проблема диффузного загрязнения будет автоматически решена. Главной составляющей успеха является хорошо проработанное и понятное законодательство, а также прозрачный механизм его внедрения как основа долгосрочного планирования при принятии решений и контроля за их исполнением. В противном случае эффективность таких решений будет весьма низкой, даже при условии искреннего желания и адекватных усилий со стороны исполнительных органов власти. Необходимость усиления нормативно-правовой базы в области не только водоохранного, но и природоохранного законодательства диктуется особенностями диффузного загрязнения, которое является прямым следствием воздействия на окружающую среду в целом. Специалисты экологических организаций, действующих на территории России, и отечественных надзорных органов отмечают ведущую роль нормативно-правового регулирования в природоохранной деятельности¹³.

Кроме того, в вопросе регулирования рассредоточенных источников значительную роль играют административные составляющие. Так, поскольку р. Волга и ее бассейн в той или иной степени охватывают территории почти четырех десятков субъектов РФ, необходимо учитывать и такой неоднозначный вопрос, как разграничение ответственности за результат негативного воздействия на водный объект, а также выработать механизм взаимодействия субъектов и федеральных структур в рамках разработки программ по снижению диффузного загрязнения.

Законодательная и методическая база позволяют сформировать долгосрочную государственную политику, отработать способы регулирования диффузного загрязнения и наладить механизм взаимодействия между надзорными и контролирующими органами, экологическими организациями, хозяйствующими субъектами.

4. Приоритет проектам по малым рекам и их водосборам перед большими речными бассейнами.

Малые реки и их водосборы в наибольшей степени подходят в качестве объектов исследования и регулирования, поскольку их санитарно-экологическое состояние является одновременно и индикатором, и фокусом проблем, связанных с диффузным загрязнением крупных речных

¹³ «Нестабильность "базового" законодательства – одна из причин сложностей решения экологических проблем России». Цит. по: Блоков И.П. Окружающая среда и ее охрана в России. Изменения за 25 лет. –М.: ОМННО «Совет Гринпис», 2018.

Ср. также: «Эффективность деятельности Росприроднадзора напрямую зависит от полноты, гармоничности и системности законодательной базы» – из доклада Федеральной службы по надзору в сфере природопользования об осуществлении и эффективности государственного контроля (надзора), 2016 г. (http://rpn.gov.ru/results_reports, дата обращения: 10.12.2018).

систем¹⁴. Иными словами, путь к оздоровлению большой реки лежит через экологическое восстановление малых водосборов в пределах ее бассейна.

Среди основных доводов в пользу этого утверждения можно выделить следующие:

- небольшие дренируемые площади и расходы воды определяют их высокую уязвимость к любому внешнему воздействию;
- ухудшение экологического состояния малых рек представляет собой один из основных предикторов развития негативных процессов большего масштаба, которые можно выявить и предотвратить на ранних стадиях их развития;
- компактные пространственные размеры позволяют проводить целенаправленные локальные природоохранные мероприятия и получать относительно более быстрый и понятный эффект от их реализации;
- на небольших водосборах легче получить представление об условиях формирования качества воды, реализовать проект мониторинга с одновременным отслеживанием хозяйственной деятельности на водосборной территории, т.е. получить достоверные связи в системе «воздействие-отклик»;
- состояние ручьев и малых рек легче контролировать, в том числе на основе привлечения широкого круга общественности и негосударственных экологических организаций (например обсуждение планов эксплуатации и охраны в рамках проведения бассейновых советов, контроль за санитарным состоянием русел, берегов, пойм, склонов и автомобильных съездов, посадка деревьев и кустарников и проч.).

Мировой опыт показывает¹⁵, что восстановление и охрана малых рек дает наиболее эффективные результаты в тех случаях, когда принимаемые меры направлены на возрождение их природных комплексов. Необходимо не только регулировать сосредоточенное и диффузное загрязнение, но и стремиться восстановить естественные механизмы речной системы и улучшать условия заселения и обитания водной флоры и фауны. Такая направленность природоохранных мероприятий позволяет создать устойчи-

¹⁴ «Особенно резко негативное влияние хозяйственной деятельности сказывается на состоянии малых рек... При этом общий объем антропогенных нагрузок на многие речные бассейны превышает потенциал самоочищения воды водных объектов...» – из Государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 году, Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Москва, 2017.

Ср. также: «Не отрицая значения крупных рек, Волги и Суры, для жизни нашей республики огромное значение имеют малые реки. Количество их достигает до 2356, а протяженность составляет до 8,6 тыс. км. Все они относятся к Волжскому бассейну. Наибольшая их часть (93,1%) имеет длину менее 10 км, то есть относятся к мельчайшим. Рек длиной 10–25 км имеется 119 (5%), от 26 до 100 км – 37 (1,6%), от 101 до 500 км – 5 (0,2%) и более 500 км – 2 (0,1%)... на этих реках значительно чаще, чем на крупных, формируются участки хронического загрязнения, а гидрохимический режим более ярко отражает особенности географического положения водосбора. Поэтому здесь тенденции выражены ярче и, как правило, более значимы, чем на крупных реках.» – по материалам, размещенным на официальном сайте Мин. природных ресурсов и экологии Чувашской республики (<http://minpriroda.cap.ru /action/ activity/ vodopoljzovanie/ obschaya-informaciya-o-vodnih-objektah-chuvashskoj> – дата обращения 29.01.2019).

¹⁵ См., например, материалы Европейского центра по восстановлению рек (<http://www.ecrr.org/>).

вый экологический каркас в крупных речных бассейнах как основу их экологически устойчивого функционирования. Отсюда вытекает следующий базовый принцип.

5. Приоритет мероприятиям, направленным на улучшение (восстановление) самоочищающей способности водных объектов и повышение устойчивости водных и околотоводных экосистем и природных ландшафтов.

Признавая тот факт, что водосборная территория во многих случаях играет ключевую роль в формировании качества воды, следует отметить, что влияние антропогенной нагрузки проявляется не только напрямую в виде увеличения концентраций ЗВ, но и косвенно, через ухудшение способности природных систем к снижению концентраций ЗВ под воздействием комплекса физико-химических и биологических процессов как в самом водном объекте, так и на его водосборе.

Освоение территорий, не предусматривающее восстановление разрушенных естественных местообитаний (болот, лесных массивов, лугов, пойменных участков, нарушенных или спрямленных участков речного русла), обедненного видового состава растительных и животных организмов, отражается на способности природных вод к самоочищению, что в свою очередь ускоряет их дальнейшую деградацию.

Пример 1

В результате преобразования морфологических элементов водотоков путем обвалования и спрямления естественных русел на участках, подверженных такому воздействию, существенно изменяются условия произрастания высшей водной растительности, увеличиваются скорости течения воды, снижается общее время пребывания воды на участке, ухудшаются условия фильтрации, осаждения и преобразования ЗВ. В результате такой участок перестает быть естественным природным биофильтром, а вся нагрузка перераспределяется на участки реки ниже по течению. Более того, на искусственно спрямленных участках русла при больших скоростях течения увеличивается риск эрозионных процессов.

Пример 2

Осушение заболоченных участков поймы или участков, приуроченных к истокам небольших рек, например в процессе развития территорий или строительства транспортной инфраструктуры, носит двойной отрицательный эффект: во-первых, за счет непосредственного увеличения антропогенной нагрузки на водосбор, во-вторых, из-за снижения способности водного объекта к самоочищению.

Пример 3

Характерная для городов засыпка естественных оврагов и отвод поверхностного стока естественных водотоков в трубы приводит к ухудшению условий аз-

рации воды и снижению концентраций растворенного кислорода, поскольку его расходование на окисление органических веществ не будет компенсироваться инвазией из ограниченного воздушного пространства. Время пребывания загрязнений в водном объекте – один из главных факторов самоочищения – в таких случаях сильно уменьшается, что практически полностью исключает снижение концентраций загрязнений за время пребывания их в трубе: седиментация взвесей и уменьшение содержания органических веществ при интенсивной аэрации воды в результате ветрового перемешивания и интенсивном фотосинтезе фитопланктона и макрофитов будут полностью исключены.

3.2 ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ

3.2.1 Развитие существующей системы мониторинга качества поверхностных вод и антропогенных воздействий с учетом диффузного загрязнения

Все мероприятия по охране окружающей среды и управление речными водосборами так или иначе должны опираться на данные мониторинга.

Действующая система мониторинга природных вод позволяет оценить общее экологическое состояние водного объекта, проследить долгосрочные изменения, выявить существующие тренды, внутригодовые и, реже, внутрисезонные закономерности качества воды и влияние климатических факторов. Однако разделить диффузное загрязнение и поступающее путем сосредоточенных сбросов, выявить рассредоточенные источники загрязнения и оценить вклад каждого из них в качество воды существующая система в полной мере не позволяет.

Для компетентного формирования программы наблюдений необходимы сведения о составе сбрасываемых сточных вод, например, по информации, предоставляемой предприятиями по форме 2–ТП (водхоз), однако в настоящее время сетевым подразделениям Росгидромета практически недоступна информация о характеристиках источников загрязнения: их ведомственная принадлежность, фактический объем сброса сточных вод, количество и состав ЗВ в контрольных створах наблюдений гидрохимической сети. Отсутствие такой информации осложняет обоснованность, значимость, адекватность представления результатов оценки состояния и загрязнения поверхностных вод как в бассейне Волги, так и в целом по Российской Федерации.

Даже при наличии подробных данных о сосредоточенном загрязнении участка реки, данных лабораторного контроля, измеренных расходах воды и другой гидрометеорологической информации, сведения о структуре зем-

лепользования, информации о загрязненности отдельных компонентов природной среды (почв, осадков и проч.) на участке водосбора, выделение диффузной компоненты может оказаться весьма непростой задачей и выполнимой, скорее всего, лишь в общем виде, отражающем интегральный вклад всех рассредоточенных источников.

Среди основных причин, препятствующих получению оценки влияния диффузных источников на основании информации государственной наблюдательной сети, можно выделить следующие (см. табл. 3.1):

- недостаточная частота отбора и анализов проб воды (рис. 3.3),
- низкая обеспеченность гидрохимических наблюдений данными о расходах воды,
- отсутствие мониторинга хозяйственной деятельности на контролируемом водосборе, неполнота данных об объеме и качестве сбрасываемых сточных вод,
- распыленность информации между разными ведомствами (Росгидромет, Росводресурсы, Росприроднадзор),
- неразвитость единого информационно-правового поля.

Таблица 3.1

Количество постов гидрохимических наблюдений в бассейне р. Волги (по состоянию на 2018 г.)

категория поста	Количество постов наблюдений	
	на водотоках	на водоемах
1	2	1
2	4	3
3	228 (72 %)	56
4	84 (26 %)	26
Итого	318*	86

* Из них более 135 постов не обеспечены гидрологическими наблюдениями, поэтому точные оценки объемов поступления ЗВ или весовых расходов (г/л) для таких постов сильно затруднены.

Преодоление этих проблем само по себе уже является положительным моментом при организации мониторинга природных вод и будет способствовать более эффективному управлению качеством воды. Однако, чтобы обеспечить полноценную информационную поддержку при решении задач снижения диффузного загрязнения модернизации действующей системы, недостаточно, а необходимо разрабатывать специальные программы, которые будут опираться в том числе на принципы, изложенные выше (см. раздел 1.3).

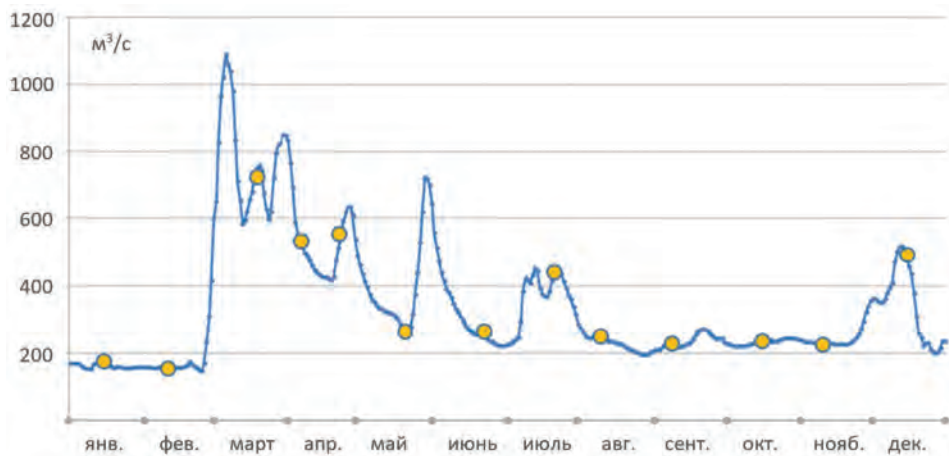


Рис. 3.3. Пример частоты отбора проб на сети гидрохимических наблюдений в бассейне р. Волги для поста 3 кат. на р. Оке у г. Каширы 2008 г. (приводится по данным ФГБУ «ГХИ»)

3.2.1.1 Стратегия мониторинга

Данные мониторинга должны лечь в основу управления диффузным загрязнением, т.е. предотвращением или снижением его воздействия там, где это технически достижимо и экономически оправдано. Наряду с фискальными мерами управление подразумевает одновременное внедрение водоохраных мероприятий и экологически ориентированных практик землепользования.

Мониторинг водных объектов предлагается осуществлять в определенной последовательности (рис. 3.4).

В предложенной схеме результаты каждого из элементов цикла используются в одном или нескольких последующих элементах. В идеале в конце цикла информация, необходимая для планирования, принятия решений и оперативного управления водными ресурсами на местном, региональном и федеральном уровнях, представляется в форме отчета или в другом согласованном формате. Также должны стать понятны потребности в дополнительной (по отношению к доступной на реализованном этапе) информации для более эффективного принятия решений и других задач по управлению диффузным загрязнением. При этом и политика, и/или цели управления могут быть скорректированы. Таким образом, начнется новый цикл, который приведет к переопределению или уточнению информационных потребностей, «обновленной» информационной стратегии и так далее. Ниже каждый из блоков рассмотрен более подробно.



Рис. 3.4. Организационный цикл мониторинга

Блок «Определение информационных потребностей».

Анализ вопросов управления водными ресурсами является основой для определения информационных потребностей.

Информационные потребности связаны с:

- приоритетными видами использования водного объекта (например, хозяйственно-питьевое водоснабжение, ирригация, рекреация) и его функциями, которые предъявляют требования к информации;
- конкретными проблемами, связанными с качеством воды и/или другими гидроэкологическими проблемами, прямым или косвенным образом влияющими на качество (например, подтопление территорий, почвенная или береговая эрозия), которые препятствуют полноценному использованию и функционированию водного объекта;
- мерами, которые предпринимаются для решения проблем использования или функционирования водотока, включая экологические аспекты.

Информационные потребности должны быть четко определены для разных уровней (например, в масштабе речного бассейна и на местном уровне).

Для определения проблем и приоритетов, связанных с использованием и защитой речного бассейна, необходимо проанализировать его функции, имеющиеся виды водопользования и землепользования, действующие программы развития и программы водоохранных мероприятий и т.п. Анализ проводится на основе имеющейся (доступной) информации, по результатам

обследований (если информации не хватает). В результате уточняются компоненты и параметры системы мониторинга.

Чтобы определить информационные потребности, потребители и поставщики информации должны тесно взаимодействовать. Все стороны, вовлеченные в охрану и использование водных ресурсов, должны участвовать в процессе выявления и уточнения информационных потребностей. Информационные потребности должны быть определены в такой степени, чтобы можно было выработать надлежащие критерии проектирования для системы мониторинга и оценки. Информационные потребности должны основываться на выявленных проблемах управления и процессе принятия решений в управлении речными бассейнами.

Анализ всей релевантной информации должен проводиться и по разрозненным, представленным в различных организациях источникам. В частности, следует собрать информацию о точечных и диффузных источниках загрязнения, например, о производственных процессах, составе сточных вод, характере землепользования, использовании удобрений в сельском хозяйстве, сведения по урбанизированным территориям (площади застройки, дорог с твердым покрытием и пр.), о выбросах в атмосферу, о зонах добычи полезных ископаемых, перечень потенциальных источников аварийного загрязнения (трубопроводы и т.п.), мест накопления бытовых и производственных отходов и пр.

Если имеющаяся документированная информация неполна, необходимо проведение дополнительных обследований по указанным направлениям.

Для оценки качества поверхностных вод может потребоваться проведение предварительных обследований состояния водной экосистемы, скрининг химического состава поверхностных вод, подземных вод, отложений и стоков в некоторых ключевых точках бассейна.

Результатом процесса выявления информационных потребностей должны быть, по меньшей мере:

- перечень контролируемых параметров;
- критерии оценки состояния водных объектов;
- требования к отчетности и представлению информации;
- требования к точности для каждого контролируемого показателя;
- степень достоверности данных;
- заданное время отклика (оперативность предоставления информации для принятия решений).

Соответствующая точность и степень достоверности данных являются решающими факторами при выборе точек мониторинга, определении частоты наблюдений и выборе лабораторных технологий и методов управления данными.

Следует установить приоритеты в информационных потребностях на основе остроты и/или числа проблем, для решения которых используется информация.

Блок «Информационная стратегия».

После того как определены информационные потребности и расставлены приоритеты, следует разработать информационную стратегию. Она определяет наилучший практический способ сбора данных из различных источников: сети мониторинга, экспертных заключений, статистических данных и архивов различных учреждений. Результатом разработки информационной стратегии является план мониторинга и сбора данных.

По мере развития системы управления водными ресурсами, достижения/уточнения целей, изменения общих подходов к решению поставленных задач информационная стратегия может меняться. Однако при этом следует обеспечивать преемственность, чтобы составлять временные ряды, позволяющие выявлять существенные и надежные тенденции. Программы экологического мониторинга всегда должны рассматриваться как требующие долгосрочных обязательств.

Блок «Сбор данных».

Наиболее ресурсоемким и трудоемким этапом мониторинга является тот, который включает отбор проб, физико-химический анализ на месте и измерение расходов воды, а также лабораторный анализ. Этот этап также влечет за собой высокие риски в получении надежных и точных данных. Поэтому важно нанимать квалифицированный и опытный персонал и соблюдать руководящие принципы и стандарты.

Для каждой из этих целей могут потребоваться специальные измерительные устройства или процедуры отбора проб, сведения по которым можно найти в обширной литературе.

Блок «Обработка данных и оценка результатов».

Чрезвычайно важно, чтобы лица, принимающие решения, лучше понимали различные этапы управления данными. Чтобы обеспечить наиболее эффективное использование собранных данных, необходимо выполнить следующие шаги:

- обеспечить сопоставимость данных, заключив четкие соглашения между участниками мониторинга о кодировании (формате) предоставляемой информации;
- организовать проверку и контроль вновь собранных данных (обнаружение выбросов, пропущенных значений и других очевидных ошибок); когда данные тщательно проверены и внесены необходимые исправления или дополнения, они могут быть утверждены для дальнейшего использования.
- организовать базы данных с учетом доступа к достаточной вспомогательной информации для интерпретации и отчетности;
- создать возможность управления данными из нескольких источников (наборы данных мониторинга, карты, характеристики землепользования, спутниковые снимки, социально-экономические данные), что является

- нетривиальной задачей, требующей соответствующего компьютерного и программного обеспечения (например, имитационные модели и ГИС, которые поддерживают интегрированное управление данными);
- определить и согласовать форматы для обмена данными; системы хранения данных участников мониторинга должны быть способны обрабатывать согласованные форматы обмена данными и позволять импортировать данные в программное обеспечение для моделирования или статистики;
 - обеспечить анализ и интерпретацию данных на основе соответствующего протокола, который четко описывает, как данные должны анализироваться и интерпретироваться и что следует делать в случае их отсутствия, какими должны быть форматы отчета, периодичность публикации, предполагаемая аудитория, процедуры распространения и типы выводов, которые надлежит сделать и представить.

Методология оценки будет определять или, по крайней мере, влиять на разработку программы мониторинга. Поэтому ее следует разрабатывать параллельно с проведением анализа информационных потребностей и разработкой программы мониторинга.

Один из простейших способов оценки – сопоставление наблюдаемых значений тех или иных показателей с нормативными или целевыми. Это относится прежде всего к показателям качества воды. Другим простым, но информативным методом оценки является подготовка карт распределения контролируемых показателей для определенных участков бассейна. Такая оценка особенно привлекательна и понятна для непрофессионалов.

В программах мониторинга, где большое количество различных данных собирается непрерывно в течение многих лет, необходимы статистические методы для эффективного обобщения результатов мониторинга. В частности, для оценки данных мониторинга используются различные типы расчетов трендов.

Блок «Отчетность и использование информации».

Отчетность является еще одним важным шагом в представленном цикле мониторинга. Отчетность играет ключевую роль в принятии решений по управлению качеством воды и в дальнейшей разработке соответствующих программ. Отчеты должны готовиться на регулярной основе. Основная проблема заключается в том, чтобы интерпретировать данные в легкодоступном, понятном виде с учетом целевой аудитории, от состава которой зависят содержание, уровень детализации отчетов и их периодичность. В зависимости от потребностей целевой группы отчет содержит агрегированную информацию (например, показатели) и/или подробную информацию в виде таблиц, статистически обработанные данные, графики и географически представленную информацию.

Государственные органы обычно запрашивают информацию в определенных форматах, которые определены в протоколах отчетности или схемах отчетности. Такие отчеты обычно представляются в письменном виде, чтобы

обеспечить однозначное понимание результатов. Кроме того, государственные органы могут иметь специальные запросы на информацию, которые не определены в протоколах отчетности, но связаны с конкретными задачами управления диффузным загрязнением. Этот вид отчетности должен соответствовать строгим требованиям относительно времени отклика и гибкости.

В общем случае отчет должен предоставлять информацию о состоянии и функциях водных объектов, о существующих проблемах и негативных воздействиях на водные объекты, а также информацию о результатах водоохраных и прочих мероприятий с точки зрения улучшения состояния водных объектов. Значение отчета для принятия решений возрастает, если широко использовать инструменты визуализации.

Интернет предоставляет мощный инструмент для обмена и передачи информации и может быть использован для информирования и привлечения неправительственных организаций и общественности, что способствует повышению осведомленности и стимулирует более устойчивое сотрудничество между заинтересованными сторонами реализации пилотных проектов.

Полученная информация должна использоваться и должна способствовать принятию управленческих решений. Поэтому информационные продукты в их различных формах должны быть доступны и привлекательны для пользователей.

Информационный продукт должен основываться на потребностях в информации, как указано выше. Большая часть информации, полученной по программе мониторинга, имеет прямую связь с состоянием поверхностных вод, но интерпретация и оценка в отношении факторов и нагрузок и того, как они меняются со временем, а также в отношении воздействия, к примеру, на здоровье, также должны учитываться.

Например, обобщение информации может быть представлено в виде информационно-экспертных систем, имеющих ГИС-основу, прототипы которых для разных водных объектов были разработаны в ходе реализации приоритетного проекта «Оздоровление Волги» (см. раздел 4.2).

Органы, управляющие водными ресурсами, нуждаются в информационных продуктах, конкретно относящихся к эффективности водоохраных мер. Принимая во внимание цикл мониторинга, использование информации также должно играть роль обратной связи при планировании мониторинга. Это позволяет при необходимости осуществить пересмотр и улучшение программы мониторинга, в том числе и с точки зрения наиболее эффективного использования выделенного финансирования.

В то время как программе мониторинга требуются стабильность и непрерывность для удовлетворения информационных потребностей, конкретные действия, составляющие цикл мониторинга, должны быть достаточно гибкими, чтобы соответствовать изменяющимся факторам и нагрузкам, новым юридическим требованиям и обязательствам, а также другим условиям. Поэтому цикл мониторинга (*рис. 3.4*) следует рассматривать как непрерывно развивающуюся, постепенно улучшающуюся спираль.

3.2.1.2 Общие вопросы разработки проектов мониторинга

Ответственность за создание и ведение проектов мониторинга диффузного загрязнения должна быть возложена на институциональный механизм с четко определенными функциями и единым центральным компетентным органом, который координирует всю деятельность в рамках реализации проектов. Подходящий институциональный механизм на федеральном и региональном уровнях должен обеспечивать сотрудничество между различными правительственными организациями, частным сектором и другими заинтересованными сторонами. Общую координацию проектов в рамках Волжского бассейна могло бы взять на себя Федеральное агентство водных ресурсов, а конкретные организационные мероприятия и обеспечение вопросов взаимодействия целесообразно возложить, например, на бассейновые советы, предварительно наделив их специальными полномочиями.

При разработке и реализации программ мониторинга диффузного загрязнения водных объектов ключевым моментом является постоянное взаимодействие и консультирование с учреждениями и ведомствами, отвечающими за различные аспекты управления окружающей средой и производственными процессами на местах (на водосборной территории).

Ход реализации программы мониторинга следует анализировать для своевременного выявления и устранения возможных ошибок.

Программа мониторинга должна иметь конкретные цели, среди которых, как минимум, должны присутствовать следующие:

а) выявление приоритетных ЗВ (показателей качества воды), поступающих с хозяйственно освоенных территорий (с/х угодья, городская застройка, промышленные площадки, строительные работы и др.);

б) установление условий и степени влияния отдельных видов хозяйственной деятельности на качество воды и экологическое состояние дренирующих территорию освоения водных объектов;

в) установление эффективности водоохраных мероприятий, экологически ориентированных практик землепользования и управленческих решений по снижению диффузного загрязнения (для каждого вида хозяйственной деятельности и конкретного водного объекта).

Анализ качества воды непосредственно в речной сети должен сопровождаться изучением пространственной информации как общего (тип использования территорий, густота речной сети, растительность), так и частного характера (способы внесения химикатов, их вид и др.). Более того, без надежных и аккуратно собранных данных «в поле» и надлежащего инспекционного контроля водосборной территории выявить источники диффузного загрязнения и оценить их влияние практически невозможно.

В общем случае для выяснения предварительной картины формирования качества воды на конкретном водосборе (пункт «а» и, частично, «б»), включая определение масштаба ухудшения качества воды, получение предварительных данных в случае их недостатка или отсутствия, выделение про-

блемных участков водосбора, целесообразно провести рекогносцировочные обследования с подробным охватом наблюдениями всех гидрологических сезонов года, по крайней мере в течение одного-двух лет.

При этом проводится анализ всей потенциально полезной информации о качестве воды, землепользовании, других характеристиках с визуализацией собранных сведений в виде таблиц и графиков и последующей интерпретацией на основе экспертных оценок. Например, концентрации ЗВ могут быть нанесены на график изменения расходов или уровней воды в реке для выявления связи с водностью или сравниваться с выбранными критериями качества на основе ПДК различных веществ. Или концентрации загрязнений можно нанести на схему водосбора, совместить их с гидрографической сетью или картой землепользования и проанализировать, существуют ли какие-нибудь закономерности вдоль русла. Полученные данные химического анализа полезно увязать с результатами биологического мониторинга и/или результатами инспекционного обследования территории.

Установление соответствия между внедрением экологически ориентированных практик ведения хозяйственной деятельности на водосборе и последующими изменениями качества воды в водном объекте (пункт «в» из приведенного выше перечня) и/или соответствующей реакцией его экосистемы представляет собой наиболее сложную цель, которая не может быть достигнута за короткий срок.

Чтобы преодолеть трудности при организации мониторинга и избежать ошибок при интерпретации результатов, целесообразно придерживаться следующих рекомендаций.

1. Подробное и аккуратное документирование проблемы качества воды, включая описание причин его ухудшения, загрязнений и приоритетных показателей, территорию источника загрязнения и др. Это позволит сформулировать набор реалистичных и количественно оцениваемых целей в области качества воды и водоохранных практик и облегчит оценку результативности проекта в целом.

2. Тщательный анализ изменений в использовании территорий и применяемых технологий обработки земли в течение всего времени проведения эксперимента с одновременным мониторингом качества воды достаточной детальности для того, чтобы определить, что изменения качества воды произошли именно благодаря целенаправленному воздействию на водосборную территорию, а не по другим факторам, например, изменению водности года.

3. Наблюдения за гидрологическим режимом водного объекта. В разделе 1.3.3 отмечено, что диффузное загрязнение в явном виде проявляется в многоводные периоды года (весеннее половодье, дождевые и снего-дождевые паводки), что особенно характерно для относительно небольших водосборов ручьев и малых рек. Поэтому необходима организация наблюдений, как минимум, за расходами воды в реке. Желательными параметрами являются

температура воздуха, количество выпавших осадков в период дождевого паводка, а также интенсивность их выпадения.

4. Продуманный проект экспериментальных работ на нескольких независимых водосборах в целях получения статистически достоверной информации и выводов. При этом наблюдения проводятся до начала внедрения правильных практик землепользования, а также в период их применения и после того, как такие практики и мероприятия будут проведены.

5. Четкое соответствие наблюдаемых показателей качества воды в водном объекте тем ЗВ, на уменьшение поступления которых нацелены практические мероприятия на его водосборной территории. Важно также отслеживать и другие, на первый взгляд незначительные факторы, такие, как изменения в численности животных (для пастбищ) или изменение площади водонепроницаемых покрытий (например, для урбанизированных территорий), включая уже упомянутые выше климатические и другие факторы.

6. Внедрение подходящих мероприятий, мониторинг полноты их выполнения и проверка на предмет соответствия первоначальному плану. Мероприятия должны выбираться исходя из наиболее существенных для качества воды загрязнений и применяться в первую очередь на наиболее критических с точки зрения формирования загрязнений участках речного водосбора. Предпочтительно, чтобы для одного и того же вида негативного антропогенного воздействия или загрязнения использовались сразу несколько однонаправленных мероприятий, поскольку их совокупное воздействие будет более эффективным, а улучшение качества воды – достижимым в более короткие сроки. В данном случае, однако, сокращение временного периода нельзя рассматривать как самоцель или приоритет.

7. Важным фактором успешного проекта мониторинга является предоставление информации и реализация образовательных программ для землепользователей, представителей хозяйствующих субъектов, общественности как на предварительном этапе, так и в ходе выполнения работ. Это помогает повысить осознанность и вовлеченность всех заинтересованных лиц, участвующих в проектах.

Поскольку диффузное загрязнение формируется многочисленными источниками (видами хозяйственной деятельности), каждый из которых обладает своей спецификой, характером проявления и набором ЗВ, постольку задача создания единой системы наблюдений для всего бассейна р. Волги нецелесообразна в практической плоскости.

Чтобы наилучшим образом использовать имеющиеся данные, ресурсы и знания, для развития мониторинга диффузного загрязнения природных вод рекомендуется применять поэтапный (шаг за шагом) подход. Он требует определения и согласования приоритетов мониторинга с последующим постепенным переходом от самой общей оценки масштабов диффузного загрязнения, которую возможно выполнить на основе существующих сетей государственного и регионального мониторинга (действующих систем на-

блюдений), к более точным оценкам, которые можно получить только путем организации наблюдений на экспериментальных (пилотных) водосборах (см. раздел 1.3). Такой поэтапный подход способствует более осмысленному определению потребностей в необходимом информационном и организационном обеспечении и позволяет разрабатывать более эффективные программы мониторинга, что доказано многолетним опытом многих развитых стран¹⁶.

Достижение целей мониторинга диффузного загрязнения, сформулированных ниже, в этом случае напоминает процесс создания и реализации дорожной карты, начиная с задач, которые относительно легко выполнимы в данной конкретной ситуации для данного конкретного водосбора, и заканчивая задачами, которые будут выполнены позже, когда сформируются соответствующие людские и финансовые ресурсы, будут углублены знания, усилена организационно-правовая основа или иным образом улучшены условия для проведения мониторинга.

В рамках поэтапного подхода желательно сначала реализовать несколько экспериментальных проектов в отдельно взятых «волжских» субъектах РФ и только после этого тиражировать успешную практику для оставшейся части бассейна. Преимущество такого подхода заключается в том, что организации, имеющие прямую или косвенную заинтересованность в использовании и управлении водными ресурсами, получают ценный опыт взаимодействия, который смогут более осознанно применить к другим подконтрольным водным объектам. Он также важен и с точки зрения того, что бассейны р. Волги и многих ее притоков простираются в пределах различных административных единиц. Поэтому для успешной реализации проектов мониторинга необходимо сотрудничество между всеми участниками субъектов РФ – органами охраны окружающей среды, БВУ и их территориальными отделами, подразделениями Росгидромета и пр. Сюда также относятся научно-исследовательские институты и другие организации, занимающиеся методической работой по мониторингу, моделированию, прогнозированию и оценке состояния окружающей среды и водных объектов. Такие договоренности о сотрудничестве и институциональные рамки в значительной степени влияют на эффективность мониторинга. Согласованные планы действий в рамках СКИОВО (и ли другой официальной формы водохозяйственного планирования меньшего масштаба, что более предпочтительно) являются основой для определения информационных потребностей мони-

¹⁶ См., например:

– Стратегическое руководство по мониторингу и оценке трансграничных рек, озер и подземных вод (Европейская экономическая комиссия ООН ECE/MP.WAT/20), разработанное рабочей группой по мониторингу и оценке (WGMA) на основе обобщения десятилетнего опыта реализации Конвенции ЕЭК ООН по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер (Россия – сторона Конвенции).

– Государственная программа по мониторингу неточечных источников, разработанная агентством по охране окружающей среды США (National Nonpoint Source Monitoring Program). Электронный ресурс (<https://www.epa.gov/nps/national-nonpoint-source-monitoring-program/>).

торинга и оценки состояния водных объектов. Обязанности по ведению мониторинга качества воды и источников воздействия на него должны быть четко закреплены законодательно.

Также важно, что дорожная карта является неотъемлемой частью пилотных проектов. Проекты в данном случае будут иметь достижимые цели и четкие и реалистичные задачи, которые учитывают специфические характеристики речного водосбора, озера или водоносного горизонта.

В силу особенностей формирования диффузного загрязнения организация мониторинга в целях получения более точных количественных оценок требует разработки отдельного подхода, основанного на базовых принципах, подробно изложенных в разделе 1.3.

3.2.2 Развитие нормативно-правовой базы в области охраны вод с учетом роли диффузного загрязнения водных объектов

Сбросы сточных вод, поступающие в водные объекты, давно регулируются, и несоблюдение законодательства ведет к наложению штрафных санкций на нарушителя, в то же время диффузный сток в нашей стране редко подвергается учету. Данный факт объясняется, в том числе, пробелами в отечественном законодательстве в отношении вопросов диффузного загрязнения, что, в свою очередь, предопределяет факт практически полного отсутствия инструктивно-методических документов по идентификации, мониторингу, оценке и регулированию диффузного загрязнения.

Очевидно, что рассредоточенное поступление ЗВ в водные объекты должно быть учтено при принятии разрешений об осуществлении хозяйственной деятельности, связанной с загрязнением водных объектов, и должно учитываться при оценке вреда, нанесенного водным объектам.

В законодательстве не предусмотрен производственный и иной контроль в области охраны окружающей среды в отношении неконтролируемого диффузного стока.

В Водном кодексе РФ явно о диффузном (рассредоточенном) стоке нигде не упоминается, хотя в общем виде говорится о необходимости предотвращения антропогенного загрязнения водных объектов, однако нет указаний на механизмы его ограничения.

В методических указаниях по разработке нормативов допустимого воздействия (НДВ) на водные объекты признается существование рассредоточенного поступления ЗВ, однако суммарная величина нормативов допустимых сбросов (НДС) для всех водопользователей по участку (в соответствии с Указаниями) не может превышать составляющую НДВ лишь по управляемому или потенциально управляемому привносу ЗВ. Таким образом, неуправляемые источники рассредоточенного загрязнения выводятся из системы регулирования.

В последние годы, однако, ситуация стала несколько меняться. Так, в Водной стратегии РФ¹⁷ отмечается, что «высокую степень воздействия на водные объекты оказывает рассредоточенный (диффузный) сток с сельскохозяйственных и селитебных территорий, площадей, занятых отвалами и отходами промышленного производства...» Учет источников диффузного загрязнения в общем виде также предусмотрен в Методике установления нормативов допустимого воздействия на водные объекты¹⁸. В методических указаниях по разработке схем комплексного использования и охраны водных объектов¹⁹ отмечается необходимость сбора информации по хозяйственному освоению водосбора, включая характеристики сельскохозяйственного, транспортно-рекреационного использования водных объектов и их водосборной территории. В составе институциональных мероприятий предлагается рассматривать, в том числе, и регулирование землепользования в водоохраных зонах водных объектов (включая их обустройство и благоустройство) и на водосборах с целью предотвращения загрязнения и истощения водных объектов. Данные мероприятия направлены на регулирование в первую очередь склонового загрязненного стока, т.е. методические указания косвенно подразумевают роль диффузного стока в формировании качества вод, но, к сожалению, явно не указывают на необходимость его учета при разработке СКИОВО. В частности, в методических указаниях не уточняется, нужно ли в балансе веществ учитывать массу ЗВ, поступающую в водный объект с рассредоточенным стоком. Поскольку баланс масс является одним из механизмов выбора мероприятий, направленных на улучшение качества вод в бассейне, отсутствие в балансе ЗВ диффузной составляющей выносит ее за рамки программ мероприятий. Отсутствие учета данной составляющей может привести к ошибочной расстановке приоритетов водоохраной деятельности и выбору мероприятий, направленных на улучшение качества вод в бассейне.

Упомянутые выше документы можно считать первым шагом отечественного законодательства на пути регулирования диффузного загрязнения. Однако системный подход в этом направлении в российском законодательстве практически полностью отсутствует, как отсутствуют и само понятие диффузного загрязнения водных объектов, и методическая база для его количественной оценки на практике, что делает его учет затруднительным или вообще выводит за рамки правового регулирования. Поэтому в настоящее время существует объективная необходимость совершенствования нормативных правовых и нормативных технических документов путем разработки положений, регулирующих диффузное загрязнение.

¹⁷ Водная стратегия Российской Федерации до 2020 года, утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 августа 2009 года № 1235-р.

¹⁸ Методические указания по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты, утв. Приказом МПР России от 12 декабря 2007 года № 328.

¹⁹ Методические указания по разработке схем комплексного использования и охраны водных объектов, утв. Приказом МПР России от 04.07.2007 № 169.

3.2.2.1 Определение целей водоохранной деятельности на федеральном уровне

Особенности диффузного загрязнения и факторы его формирования предопределяют тот факт, что стратегия по снижению (предотвращению) негативного воздействия на водные объекты позволит получить ощутимые результаты только в том случае, если будет ориентирована на долгосрочную перспективу, а не на реализацию отдельно взятых краткосрочных программ (см. принципы во вводной части настоящей Концепции). Снижение объемов поступления ЗВ от сосредоточенных источников может быть достигнуто в относительно сжатые сроки путем строительства новых и модернизации действующих очистных сооружений. В противовес этому снижение влияния источников диффузного загрязнения в силу их природы требует пересмотра технологий ведения хозяйственной деятельности в различных отраслях экономики, внедрения экологически ориентированных практик землепользования, технологических процессов и в определенной степени сдвига парадигмы природопользования в целом. Ясно, что эти задачи должны быть включены в общую государственную природоохранную политику. В этой связи долгосрочные цели и принципы охраны вод от загрязнений диффузной природы должны быть закреплены на уровне нормативного правового документа федерального уровня. И чем яснее они будут обозначены, тем проще будет организовывать и контролировать деятельность государственных органов и водопользователей, оценивать эффективность использования финансовых ресурсов.

Опыт ряда стран и регионов (США, ЕС и др.) показывает, что формулирование целей водоохранной деятельности, сроков и критериев оценки их достижения на самом высоком государственном (надгосударственном) уровне позволяет достичь значительного прогресса в реальном улучшении состояния водных объектов и, в частности, ограничении загрязнений диффузного характера.

Например, закон «О чистой воде» (США, 1972 г.) предусматривал в качестве государственных задач, кроме прочего:

- «(1) прекращение сброса ЗВ в судоходные водные объекты к 1985 г.;
- (2) где возможно, достижение к 1 июля 1983 качества воды, благоприятного для рыб, ракообразных, диких животных, а также для целей рекреации».

Рамочная водная директива ЕС²⁰ устанавливает в качестве общей цели (п. 1(а) (ii)):

«...защищать, улучшать и восстанавливать все поверхностные водные объекты ... с целью достижения хорошего состояния поверхностных вод не позднее, чем через 15 лет после вступления в силу данной Директивы».

²⁰ Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy // Official Journal of the European Community L327, 22.12/2000, p.p. 1–72.

Определение того, какое состояние водного объекта считается хорошим, приведено в приложениях к Директиве, порядок установления параметров хорошего состояния приводится в соответствующих руководствах.

И первый, и второй из упомянутых документов содержат условия, при которых указанные сроки могут быть перенесены. Анализ хода реализации как американского, так и европейского документов показывает, что сроки не выдерживаются. Но при всем этом – цели и сроки установлены, а значит, есть, с чем сравнивать достигнутые показатели, есть стимул для концентрации усилий в том или ином направлении.

В целом экологическое законодательство указанных стран (регионов) характеризуется обилием детально проработанных подзаконных актов и других документов (руководств, пособий, методических рекомендаций и проч.), помогающих разъяснить, правильно интерпретировать и применять на практике положения основного документа, а также конкретизировать этапы достижения поставленных целей.

Охрана поверхностных вод от антропогенного загрязнения является элементом природоохранной и водохозяйственной деятельности. Каждая из этих сфер деятельности имеет нормативно-правовые механизмы регулирования. При этом в отношении задач охраны поверхностных вод природоохранные нормативные правовые акты играют определяющую роль, а водохозяйственные – призваны конкретизировать общие природоохранные нормы и механизмы в применении к задачам улучшения состояния водных объектов. Однако реальная ситуация, сложившаяся к настоящему моменту в отечественном законодательстве, не может быть признана удовлетворительной.

Среди действующих нормативных правовых актов РФ можно выделить несколько ключевых документов с точки зрения определения целей природоохранной (водоохранной) деятельности:

- Водный кодекс РФ.
- Закон об охране окружающей среды.
- Распоряжение Правительства РФ от 27.08.2009 №1235-р «Об утверждении Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года».
- Постановление Правительства РФ от 19 апреля 2012 г. №350 «О Федеральной целевой программе «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012–2020 годах»».
- Основы государственной политики в области экологического развития РФ на период до 2030 года, утв. Президентом РФ 30.04.2012.
- Постановление Правительства РФ от 15.04.2014 №326 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Охрана окружающей среды» на 2012–2020 годы».
- Указ Президента РФ от 19.04.2017 №176 «О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года».
- Указ Президента РФ от 07.05.2018 г. №204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года».

При ближайшем рассмотрении, в первых двух из приведенных документов, являющихся законодательными актами общего действия федерального уровня (и их можно считать аналогами упомянутых выше зарубежных документов), конкретные цели и сроки достижения этих целей не устанавливаются.

Так, Водный кодекс РФ – основополагающий документ, регулирующий использование, охрану и восстановление водных объектов в Российской Федерации ориентирован прежде всего на соблюдение нормативов допустимого воздействия. В ст. 1 «Основные понятия» диффузный (рассредоточенный) сток не упомянут, вопросы охраны водных объектов от диффузного загрязнения отражены в ряде статей и пунктов лишь косвенным образом:

- в ст. 30 (п. 5) говорится о мониторинге состояния дна и берегов водных объектов, а также состояния водоохранных зон;
- в ст. 43 говорится об установлении зон санитарной охраны;
- в ст. 48 указывается о необходимости очистки водных объектов от затонувшей древесины и о запрещении сплава древесины без судовой тяги;
- в ст. 50 указывается, что использование водных объектов для рекреационных целей (отдыха, туризма, спорта) должно осуществляться с учетом правил использования водных объектов, однако документы (положения), конкретизирующие эти требования, в настоящее время отсутствуют;
- в ст. 61 (п. 3) указано: *«орошение ... и другие мелиоративные работы должны проводиться одновременно с осуществлением мероприятий по охране окружающей среды, по защите водных объектов и их водосборных площадей»*, однако эти требования не оформлены в виде подзаконных актов.

На снижение диффузного загрязнения водных объектов при эксплуатации гидроэнергетических объектов направлена ст. 62 (п. 3), которая указывает на необходимость установления на участках поймы охранных зон с особыми условиями водопользования и использования участков береговой полосы, однако нормативные акты о порядке использования этих зон отсутствуют.

- ст. 65 направлена на выделение водоохранных зон и прибрежных защитных полос, однако регламентирование хозяйственной деятельности в их пределах как основного фактора диффузного загрязнения не отвечает все возрастающей антропогенной нагрузке на водные объекты;
- ст. 69 говорит о необходимости возмещения вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства, однако к рассредоточенному стоку данная статья не может быть применена, поскольку действовавшие ранее методические указания²¹ утратили силу.

²¹ Методические указания по расчету платы за неорганизованный сброс загрязняющих веществ в водные объекты. Утв. предс. Гос. комитета Российской Федерации по охране окружающей среды от 29.12.1998; утратили силу с 1.01.2016 на основании приказа МПР России от 1.10.2014 № 421.

Из вводной части и ст.1 Закона об охране окружающей среды²² можно лишь сделать вывод, что государственная политика нацелена на соблюдение (достижение) нормативов качества окружающей среды, которые имеют (могут иметь) измеримые значения.

Кроме того, в некоторых статьях этого закона содержатся только общие требования по охране от загрязнения водосборных территорий (статьи 39, 40, 42, 46, 49, 51, 67, 80.1). Например, в ст. 42 «Требования в области охраны окружающей среды при эксплуатации объектов сельскохозяйственного назначения» указано: *«При эксплуатации объектов сельскохозяйственного назначения должны соблюдаться требования в области охраны окружающей среды, проводиться мероприятия по охране земель, почв, водных объектов, растений, животных и других организмов от негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду»*. Однако сами эти требования и мероприятия не конкретизированы.

Ряд статей требует более четкой формулировки в отношении диффузного стока с территорий. Например, в ст. 67 «Производственный контроль в области охраны окружающей среды (производственный экологический контроль)» не указана необходимость контроля рассредоточенного стока с водосбора. В настоящее время производственный контроль ведется только по отношению к точечным источникам сброса сточных вод.

Целесообразно дополнить указанные статьи положениями, которые будут более четко учитывать источники и основные особенности диффузного загрязнения, включая вопросы контроля и регулирования.

Таким образом, краткий обзор статей Водного кодекса и положений Закона об охране окружающей среды показывает, что водоохранные цели как общего характера, так и касающиеся предотвращения поступления ЗВ с рассредоточенным стоком отражены в декларативном стиле, а пути их достижения слабо конкретизированы.

В российской практике цели и сроки определяются главным образом в документах государственного стратегического планирования, одним из которых является Водная стратегия. Основная стратегическая цель в данном документе звучит как *«сохранение и восстановление водных объектов до состояния, обеспечивающего экологически благоприятные условия жизни»*. Там же обозначены основные механизмы ее достижения (в т.ч. оценка и сокращение диффузного выноса ЗВ в водные объекты) и целевые показатели. Рассмотрим те из них, которые так или иначе касаются качества воды:

1) доля водохозяйственных участков в экономически освоенной части Российской Федерации, качество воды в которых оценивается как «условно чистая» или «слабо загрязненная», в 2020 году составит 40%;

2) доля загрязненных сточных вод в общем объеме отводимых в водные объекты сточных вод, подлежащих очистке – 36% (89% в базовом году);

²² Федеральный закон от 10.01.2002 г. № 7–ФЗ «Об охране окружающей среды». Режим доступа: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 14.04.2019).



Рис. 3.5. Классы качества по УКИЗВ (бассейн р. Волга от г. Рыбинск до г. Чебоксары, 2017 г.)

3) объем организованного сброса ЗВ в поверхностные водные объекты – 6,6 млн т (ок. 11 млн т в базовом году).

Во-первых, недостаток этих показателей заключается в том, что каждый из них обозначает цель только на 2020 г. и не дает представления о «конечной» цели. Например, неясно, ставится ли задача в обозримой перспективе добиться «хорошего» качества воды по всем водохозяйственным участкам. Во-вторых, каждый из целевых показателей имеет значительную степень неопределенности и ориентирован в целом на регулирование сосредоточенных сбросов ЗВ.

С точки зрения целеполагания первый показатель базируется на классах качества воды по УКИЗВ²³, который, в свою очередь, опирается на значения рыбохозяйственных ПДК, не учитывающих природных особенностей формирования качества воды для конкретного региона. Во многом именно по этой причине практически на всех пунктах контроля Государственной наблюдательной сети в «экономически освоенной части РФ», к которой относится бассейн р. Волги, класс качества воды по УКИЗВ хуже целевого, и сокращение антропогенного влияния (сосредоточенных сбросов и поступления диффузного загрязнения) не всегда сможет гарантировать достижение такой цели, как повышение класса качества вод (рис. 3.5²⁴, 3.6²⁵)

²³ РД 52.24.643–2002 Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям / Росгидромет. – СПб.: Гидрометеиздат, 2003.

²⁴ Качество поверхностных вод Российской Федерации. Ежегодник. 2017 / Росгидромет, ФГБУ ГХИ. Ростов-на-Дону. 2018. 555 с. Режим доступа: <http://gidrohim.com/node/72> (дата обращения: 9.08.2019).

²⁵ Качество поверхностных вод Российской Федерации. Информация о наиболее загрязненных водных объектах Российской Федерации (приложение к ежегоднику). 2017 / Росгидромет, ФГБУ ГХИ. Ростов-на-Дону. 2018. 144 с. Режим доступа: <http://gidrohim.com/node/72> (дата обращения: 9.08.2019).

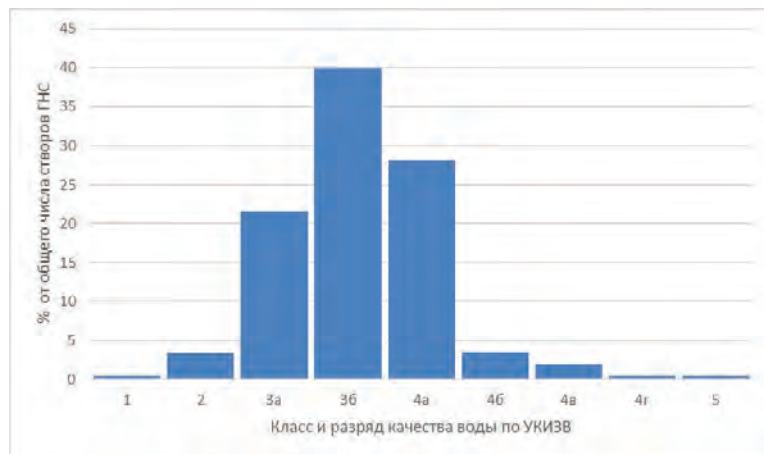


Рис. 3.6. Распределение створов по классам качества воды в бассейне р. Волги в 2017 г.

Незначительные разнонаправленные колебания значений УКИЗВ из года в год – свидетельство не результатов водоохранной деятельности, а изменения погодных условий формирования стока.

Второй целевой показатель, хотя и выглядит более конкретным, но оценивает «загрязненность» сточных вод по соответствию их характеристик нормативам допустимых сбросов (НДС), которые в целом также опираются на рыбохозяйственные ПДК.

Третий показатель в некоторой степени аналогичен второму, но что понимается под «объемом организованного сброса ЗВ» остается не до конца ясным. Если речь идет о суммарном сбросе всех веществ, учтенных в форме 2–ТП (водхоз), то его эффективность для водоохраны остается под вопросом, во-первых, потому, что сведения предоставляются самими водопользователями и, следовательно, могут быть недостаточно объективными, а во-вторых, значительная часть ЗВ может сбрасываться в составе нормативно чистых вод. Если это сброс в категории 2–ТП (водхоз) «без очистки» и «недостаточно очищенные», то и там в составе одного стока может быть много ЗВ, и лишь по одному из них может быть нарушение НДС. При использовании этого показателя нет гарантии, что снижение общей массы загрязнений будет достигнуто за счет всего спектра ЗВ, а не за счет какого-то одного ЗВ.

Показатели, связанные с диффузным загрязнением, которое составляет не менее половины всех загрязнений р. Волги и других поверхностных водных объектов России, не нашли отражения в рассматриваемом документе.

Анализ целевых показателей федеральной целевой программы «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012–2020 годах» (ФЦП) и, главное, хода корректировки этих показателей показывает непригодность и этого инструмента для установления долгосрочных водоохран-

ных целей. В Приложении №1 к ФЦП, содержащем целевые индикаторы и показатели реализации, указано: «Корректировка целевых индикаторов и их значений может быть проведена в установленном порядке при изменении бюджетного финансирования Программы». Это положение предопределяет непрогнозируемую «подвижность» целей, что подтвердилось на практике. В период реализации программы корректировка осуществлялась регулярно (8 соответствующих постановлений Правительства РФ). В результате плановое финансирование ФЦП (и з всех источников) снизилось более чем вдвое (42% от начального). Если учесть накопленную инфляцию (с марта 2012 г. по март 2019 г.) в 61,62%²⁶, то получим 26% от начального (в ценах 2012 г.) В результате только один целевой показатель оказался больше половины изначально запланированного значения (доля населения, защищенного от негативного воздействия вод). Остальные в основном приняли значение между 25% и 40% от первоначального.

Больше всего «пострадали» показатели, связанные с качеством воды и состоянием природных водных объектов:

1) сокращение доли загрязненных сточных вод в общем объеме сброса в поверхностные водные объекты сточных вод, подлежащих очистке, изначально планировалось:

с 88,6% в 2012 г. до 45,2 % в 2020 г.;

в последней редакции (по Постановлению Правительства РФ от 20.06.2019 №786):

с 88,6% в 2012 г. до 84,7 % в 2020 г.;

2) протяженность восстановленных и экологически реабилитированных водных объектов изначально планировалась в размере 4350 км, а в последней редакции (см. там же) этот показатель сократился до 404 км.

При этом заявленные «Ожидаемые конечные результаты реализации Программы и показатели ее социально-экономической эффективности» остались без изменений, включая и те, что имеют численные оценки, например:

- гарантированное обеспечение водными ресурсами текущих и перспективных потребностей населения и объектов экономики Российской Федерации;
- создание условий для обеспечения благоприятных экологических условий для жизни населения, развития сферы услуг в области водного туризма и рекреации;
- увеличение природоохранной инвестиционной активности в промышленности и жилищно-коммунальном хозяйстве и ряд других.

Это свидетельствует либо о том, что найден способ добиться первоначально поставленных целей с меньшими усилиями, либо (что скорее) цели

²⁶ Калькулятор инфляции. Режим доступа: https://fin-plus.ru/services/inflation/inflation_calc.php (дата обращения: 24.08.2019).

сформулированы так, что в любом случае их можно посчитать как выполненными, так и не выполненными.

В национальном проекте «Экология» заявлены цели, относящиеся к улучшению качества воды в р. Волге, а именно: снижение объема отводимых в реку загрязненных сточных вод с 3,17 до 1,05 км³/год. Однако никакой показатель улучшения качества воды в водных объектах не предусмотрен, так же, как и не предусмотрено снижение воздействия от источников диффузного загрязнения.

Таким образом, в федеральных законах нет четких измеримых целей водоохранной деятельности, выраженных в показателях состояния водных объектов. Существующие положения недостаточно конкретизированы в подзаконных нормативных актах. Положения о регулировании источников диффузного загрязнения в явном виде отсутствуют.

Цели, представленные в документах государственного стратегического планирования, с одной стороны, не выглядят достаточно обоснованными, с другой стороны, корректируются в зависимости от возможностей бюджетного финансирования. Основные принципы, которые могут применены при разработке водоохранной политики, представлены в нескольких документах. Все это затрудняет долгосрочное планирование государственной деятельности в сфере охраны водных объектов от загрязнения, поступающего от сосредоточенных и рассредоточенных источников, а также оценку результатов такой деятельности.

Предложения.

1. Дополнить Водный кодекс РФ и Закон об охране окружающей среды положениями, раскрывающими понятие *диффузное загрязнение* и внести дополнения в рассмотренные выше статьи указанных документов таким образом, чтобы они в явном виде учитывали источники и основные особенности диффузного загрязнения, включая вопросы его контроля и регулирования.

2. Разработать нормативный правовой акт федерального уровня, например Закон о чистоте природных вод, в котором должны быть представлены, в числе прочего, основные принципы и механизмы реализации государственной водной политики, поддающиеся контролю долгосрочные целевые показатели состояния водных объектов России и сроки их достижения (с неременным и явным указанием на необходимость планомерного снижения поступления ЗВ от сосредоточенных и диффузных источников загрязнения).

Формулировка целей должна быть научно обоснованной. Предлагается рассмотреть такую формулировку цели:

«К 2035 году достичь показателей хорошего экологического состояния водных объектов на всех пунктах контроля качества воды государственной наблюдательной сети».

Тем же документом (и ли иным, выпущенным ранее) утвердить методику оценки экологического состояния водного объекта. Методика должна содержать перечень обязательных для контроля показателей состояния водно-

го объекта (концентрации веществ, биотические индексы и пр.), способы их измерения (вычисления) с учетом природного фона и степени антропогенной измененности водных объектов.

В качестве критериев динамики улучшения экологического состояния могут выступить следующие показатели:

- общее устойчивое снижение концентраций приоритетных ЗВ в водном объекте, основанное на выявлении длительных трендов с учетом изменчивости естественной водности;
- повышение степени биоразнообразия водных и околводных экосистем с учетом природной (фоновой) и антропогенной специфики отдельных участков речного бассейна;
- улучшение общего санитарного состояния водного объекта и возможность (безопасность) использования водного объекта для рыбной ловли и рекреации;
- повышение общей ландшафтно-экологической и эстетической привлекательности водного объекта и околводного пространства.

При этом необходимо, чтобы для этих и подобных им критериев были разработаны хорошо обоснованные методические документы на основе единых подходов к оценке состояния водных объектов.

Достигать поставленных целей можно посредством реализации целевых программ, которые могут исполняться более или менее успешно. При этом будет гарантирована неизменность целей.

3.2.2.2 Общие цели, принципы и описание механизмов реализации государственной политики в области снижения диффузного загрязнения

Обеспечение измеримого улучшения состояния водных объектов за счет снижения установленного негативного влияния диффузных источников загрязнения должно быть неотъемлемой частью государственной природоохранной политики, организационно-правовой механизм проведения которой должен опираться на следующие основные принципы:

- бассейновое программирование;
- территориальное планирование;
- отраслевое совершенствование;
- государственное поощрение.

Положительный опыт Европейского Союза в области регулирования диффузного загрязнения базируется на нескольких взаимосвязанных пунктах:

1) определение параметров и сроков целевого состояния водного объекта, выраженного в измеримых показателях (включая показатели химического состава, микробиологического состава, состояния водной экосистемы

и пр.), с учетом природных особенностей и неустранимых антропогенных факторов;

2) регулирование антропогенных воздействий на водный объект на уровне показателей наилучших практик землепользования или ведения хозяйственной деятельности, стимулирование к применению наилучших с экологической точки зрения практик деятельности на водосборной территории, применение дополнительных мер, если целевое состояние не может быть достигнуто на основе наилучших практик землепользования; разработка бассейновых планов мероприятий, прогнозная оценка эффекта реализации планов, их корректировка при необходимости;

3) реализация бассейновых планов мероприятий, контроль, оценка и широкое обсуждение результатов; государственное стимулирование разработки и внедрения новых технологий, побуждение к принятию дополнительных мер по обеспечению целевого состояния водных объектов; регламентированное изменение сроков достижения или параметров целевого состояния в особых случаях.

В России, так же, как и в развитых зарубежных странах, установка целей, определение приоритетных направлений и разработка долгосрочных программ действий по снижению диффузного загрязнения водных объектов производятся по речным бассейнам. Эта задача находится в компетенции уполномоченного федерального органа исполнительной власти, который обеспечивает широкое информирование и вовлечение в процесс принятия решений всех заинтересованных сторон (в настоящее время это Бассейновые водные управления Росводресурсов).

Разработка планов мероприятий в рамках согласованной бассейновой программы и контроль их реализации осуществляется по субъектам РФ. Эта задача находится в компетенции уполномоченного органа исполнительной власти субъекта РФ. Водопользователи и муниципальные образования участвуют в реализации планов в той мере, в которой это обусловлено действующим законодательством.

Министерства и ведомства ведут работу по совершенствованию и внедрению способов хозяйствования и технологий, обеспечивающих наименьшее воздействие на окружающую среду (в частности, путем участия в разработке и корректировке справочников НДТ, стандартов и проч.).

Государство в лице федеральных органов власти определяет и реализует меры поощрения к разработке и внедрению способов хозяйствования и технологий, при которых сокращается негативное воздействие на водные объекты, в том числе и за счет снижения диффузного загрязнения.

Ниже в общих чертах раскрыты содержание и механизмы реализации предложенных выше принципов.

1. Бассейновое программирование.

В соответствии с Водным кодексом РФ основным инструментом долгосрочного планирования водохозяйственной деятельности являются Схемы

комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО). Разработка и утверждение СКИОВО для речных бассейнов России (и ли их крупных участков; например, Волжский бассейн разбит на 4 участка) были в основном завершены к 2015 г. СКИОВО утверждены Бассейновыми водными управлениями. Процедура утверждения СКИОВО включает согласование с бассейновыми советами, в которых представлены все заинтересованные стороны, а также государственную экологическую экспертизу. Предусмотрена в случае необходимости корректировка СКИОВО.

В СКИОВО, среди прочего, устанавливаются целевые показатели качества воды, которые, по существу, являются индикаторами целевого состояния водных объектов речного бассейна, определяется программа водоохранных мероприятий, ориентированная на достижение этого целевого состояния.

Таким образом, инструменты бассейнового программирования уже функционируют. Однако реализация настоящей Концепции потребует внесения изменений в действующие программы мероприятий, так же, как и в другие компоненты СКИОВО. Эти изменения могут быть произведены в рамках регламентной корректировки СКИОВО или при разработке новых СКИОВО (после завершения сроков реализации действующих).

СКИОВО разрабатываются, в том числе, для определения допустимой антропогенной нагрузки на водные объекты. Постановка этой цели должна подразумевать учет и массы ЗВ, поступающих с водосбора с рассредоточенным (диффузным) стоком.

В Методических указаниях²⁷ (п. 19.4) указывается необходимость сбора информации по хозяйственному освоению водосбора, включая:

- характеристики сельскохозяйственного использования водосборной территории речного бассейна;
- характеристики транспортного использования водных объектов речного бассейна;
- характеристики рекреационного использования водных объектов речного бассейна.

Однако методы учета этих составляющих нагрузки напрямую не прописаны. Поскольку расчет диффузного стока методически не обусловлен и не обоснован в большей части СКИОВО, то отсутствие учета этой составляющей при выборе мероприятий, направленных на улучшение качества вод в бассейне, почти неизбежно приводит к ошибочной расстановке приоритетов водоохраной деятельности.

Существенным недостатком является отсутствие документа, который недвусмысленно указывал бы на необходимость учета СКИОВО в программах территориального развития.

²⁷ Методические указания по разработке схем комплексного использования и охраны водных объектов. Утв. Приказом МПР России от 4.07.2007 № 169, зарегистрированным в Минюсте России 10.08.2007, рег. № 9979.

В качестве основных принципов, обеспечивающих адекватное внимание источникам диффузного загрязнения водных объектов при разработке/корректировке СКИОВО, можно предложить следующие:

1) инклюзивность – обязательное включение в СКИОВО мер по исследованию и снижению негативного воздействия диффузных источников загрязнения на состояние водных объектов с акцентом на методику оценки и подходы к регулированию;

2) территориальность – учет территориальных (по участкам бассейна) особенностей природных и антропогенных условий формирования стока при оценке воздействия диффузных источников загрязнения на водные объекты;

3) приоритетность – определение приоритетных направлений водоохранной деятельности в речном бассейне с учетом оценки степени воздействия выявленных источников диффузного загрязнения на качество воды, состояния водных объектов и преимущественных видов их использования; методику по установлению приоритетов следует разработать и утвердить отдельно;

4) интегрированность – учет планов социально-экономического развития территорий при разработке СКИОВО, учет СКИОВО в планах социально-экономического развития;

5) цикличность – регламентированное уточнение всех параметров СКИОВО в рамках трехлетних циклов (в соответствии с циклами федерального бюджетного планирования) по следующей цепочке: реализация комплекса мероприятий – оценка результатов и анализ вновь накопленной информации – уточнение целей, приоритетов и программы мероприятий.

Следует отметить, что во время разработки СКИОВО отсутствовало утвержденное методическое обеспечение установления целей и приоритетов водоохранной деятельности в речных бассейнах с учетом природных и антропогенных особенностей формирования стока. Для разработки эффективной водоохранной стратегии чрезвычайно важно устранить этот пробел²⁸.

Итак, на бассейновом уровне (в рамках СКИОВО) определяются долгосрочные цели и приоритетные направления водоохранной деятельности (в том числе, в обязательном порядке, по снижению воздействия диффузных источников загрязнения на качество поверхностных вод), разрабатывается общая долгосрочная программа действий. Также в обязательном порядке в СКИОВО включаются основные направления совершенствования системы мониторинга, НИР и пр.

²⁸ См., например: «Рекомендации по установлению целевых показателей качества воды поверхностных водных объектов»; «Рекомендации по выбору приоритетных водоохранных мероприятий, направленных на достижение целевых показателей качества воды». Эти рекомендации снимают указанную проблему. Они прошли глубокую научную экспертизу, имеют примеры успешного практического внедрения и предлагаются к скорейшему утверждению в качестве официальных инструктивных документов. Разработка рекомендаций выполнена ФГБУ РосНИИВХ в рамках государственного задания.

2. Территориальное планирование.

Специфика источников диффузного загрязнения водных объектов, пространственные масштабы необходимых водоохранных мер, а также общая схема распределения полномочий в сфере управления водными ресурсами и водопользованием позволяет заключить, что планирование мероприятий по снижению негативного воздействия диффузных источников загрязнения следует осуществлять на уровне субъектов РФ.

В соответствии с Водным кодексом РФ, СКИОВО являются обязательными к исполнению всеми органами власти. Предлагается на основе Программы водоохранных мероприятий СКИОВО в каждом субъекте РФ, расположенном в бассейне, разрабатывать планы мероприятий по сокращению негативного воздействия на водные объекты диффузных источников загрязнения. Планы разрабатываются на весь срок реализации СКИОВО, с разбиением на трехлетние этапы.

Водоохранные мероприятия, входящие в планы субъектов РФ, могут быть разбиты на четыре уровня:

- федеральные (и ли бассейновые) – мероприятия, реализация которых не входит в компетенцию субъектов РФ;
- региональные (в компетенции субъекта РФ);
- муниципальные;
- водопользователей.

Финансирование мероприятий осуществляется за счет бюджетов соответствующих уровней и собственных средств водопользователей. Очередность реализации и вопросы финансовой поддержки мероприятий определенного уровня из бюджетов более высокого уровня решаются с учетом приоритетности мероприятий, установленной в СКИОВО.

Планирование и контроль находятся в компетенции уполномоченного органа исполнительной власти субъекта РФ. Программа мероприятий согласуется с федеральным уполномоченным органом БВУ. Финансовая поддержка тех или иных мероприятий программы из средств бюджета РФ осуществляется по рекомендации БВУ.

3. Отраслевое совершенствование.

Для организации эффективной деятельности по снижению влияния ИДЗ на природные воды необходимы инструменты оценки вклада конкретного источника в формирование качества воды. По крайней мере, для первоначальной оценки наиболее эффективны балансовые методы, основанные на сопоставлении расчетной массы поступления ЗВ от ИДЗ с расходом этого ЗВ через контрольный створ водного объекта. Такой расчет производится в первую очередь там, где наблюдается превышение содержания контролируемого ЗВ над нормативным (и ли значением целевого показателя).

Следует отметить, что точность таких оценок во многом зависит от надежности применяемой методики, проработанности проектов мониторинга, до-

ступности и надежности исходных данных (включая данные о сбросах из источников сосредоточенного загрязнения), оперативности и открытости взаимодействия между заинтересованными организациями и ведомствами, в том числе между держателями и реципиентами необходимой информации по видам землепользования, применяемым технологическим процессам и проч.

В общих случаях при регулировании ИДЗ целесообразно придерживаться вступившей в силу в 2019 г. системы нормирования воздействий на окружающую среду на основе технологических нормативов²⁹, которые, в свою очередь, опираются на показатели наилучших доступных технологий (НДТ). Справочники НДТ формируются по отраслевому принципу. Данный вид отраслевого совершенствования становится важной составляющей общей водоохранной стратегии и представляется перспективным в части регулирования диффузного загрязнения.

В случае, если механизм НДТ напрямую не применим к конкретному виду источников, следует ориентироваться на внедрение наилучших экологически ориентированных практик землепользования и способов ведения хозяйственной деятельности, уже зарекомендовавших себя на практике (отечественный и мировой опыт). Например, способы внесения удобрений, агротехнологические приемы обработки почвы для сельскохозяйственных объектов, последовательность операций при проведении погрузочно-разгрузочных и/или раскопочных работ, складировании материалов при строительстве и др. Данные подходы могут быть реализованы внедрением отраслевых стандартов или отраслевых правил, утвержденных соответствующими министерствами. Соблюдение правил может служить основой государственного софинансирования деятельности таких предприятий в качестве поощрения природоохранной деятельности.

Однако в новой системе остается много нерешенных вопросов.

1) Система выдачи комплексных экологических разрешений на основе НДТ не связана с целями и бассейновыми программами СКИОВО, а мероприятия для основных действующих источников загрязнения мало зависят от оценки состояния водного объекта и воздействия на него.

Действительно, в соответствии с Законом для действующих объектов, оказывающих значительное воздействие на окружающую среду (объекты 1 категории), КЭР выдается в случае наличия плана повышения экологической эффективности, обеспечивающего достижение показателей (в частности) сброса ЗВ в водный объект не хуже, чем технологические показатели НДТ³⁰. Расчет нормативов допустимого сброса (НДС, рассчитанный исходя

²⁹ Федеральный закон от 21.07.2014 № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации». Режим доступа: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 14.08.2019).

³⁰ Для упрощения рассуждений предположим, что в составе сточных вод нет опасных ЗВ 1 и 2 категории.

из условия соблюдения нормативов качества воды в водном объекте) не предусматривается. При достижении показателей «не хуже НДТ» устанавливается нулевой коэффициент в расчет платы за сброс ЗВ. При этом в числе сбрасываемых ЗВ могут быть такие показатели НДТ, для которых значительно превышены НДС, если бы они были рассчитаны. В этом случае функционирование объекта «на уровне НДТ» не позволит достичь нормативов качества воды в водном объекте, а стимулов сокращения сброса – никаких (плата за загрязнение не предусматривается)! Хотя вполне очевидно, что сброс ЗВ даже в пределах НДТ в верховьях небольшой реки может привести к нежелательным последствиям для окружающей среды, а в нижнем течении большой реки – может быть совершенно незаметен. На конкретном водном объекте для соблюдения норматива качества воды (НКВ) может не быть иного выхода, кроме перепрофилирования или закрытия производства.

Таким образом, пока в отличие от европейского опыта (см. пример 3, приведенный выше) не предусмотрено никакого механизма принятия дополнительных мер в случае, когда при соблюдении технологических нормативов не обеспечивается достижение поставленных водоохранных целей.

Предложения.

Увязать систему выдачи комплексных экологических разрешений (КЭР) на основе НДТ с оценкой воздействий в пределах технологических нормативов (сбросы, выбросы, размещение отходов и пр.) на конкретные водные объекты. Поставить выдачу повторного КЭР (после достижения показателей НДТ) в зависимость от наличия программы мероприятий по достижению нормативов качества воды или целевых показателей качества воды в контрольных створах водных объектов, на которые оказывается негативное воздействие. При этом следует разработать методическое обеспечение по оценке диффузного загрязнения водных объектов от различных типов источников негативного воздействия.

2) Не обеспечена мотивация к постоянному развитию технологий, обеспечивающих сокращение воздействий на окружающую среду.

Поскольку одним из критериев отнесения технологии к НДТ является промышленное внедрение на двух и более объектах в РФ, то не вполне ясны механизмы обновления справочников НДТ. Для функционирующих объектов при достижении показателей воздействия на окружающую среду, соответствующих технологическим нормативам, плата за негативное воздействие не вменяется, независимо от возможных последствий для окружающей среды. Следовательно, у владельцев действующих предприятий нет никаких стимулов к разработке и внедрению технологий, обеспечивающих показатели воздействия на окружающую среду лучшие, чем в утвержденных справочниках НДТ. Такая потребность может возникнуть только у владельцев «проектируемых» объектов, поскольку по ним производится расчет

НДС. Представляется, что такой «узконаправленной» мотивации недостаточно для регулярного обновления справочников НДТ.

Эта проблема устраняется, если принять вышеизложенные предложения о включении требований по увязке выдачи КЭР с достижением целевых показателей качества воды в водных объектах.

3) Справочники НДТ не охватывают такие направления хозяйственной деятельности, как организация сбора и очистки дождевого стока и снега на сельских территориях; сельское хозяйство (за исключением свино- и птицеферм).

Предложения.

А) Проанализировать выпущенные справочники НДТ с точки зрения учета диффузного загрязнения. Внести необходимые поправки в случае необходимости.

Б) Вменить включение мероприятий по контролю диффузного загрязнения в Программы производственного экологического контроля (пробы почв на границах ЗСО и т.п.).

В) Разработать справочники НДТ по организации сбора и очистки талого и дождевого стока с территорий населенных пунктов. При всей специфике они вполне укладываются в общую концепцию справочников НДТ: объекты можно классифицировать «по мощности» (площадь, численность населения, климатические условия), имеются известные апробированные технологии (снегосплавные пункты, ливневая канализация, станции очистки ливневых стоков и пр.).

Г) По животноводству: можно рекомендовать расширить перечень справочников НДТ для охвата хозяйств по выращиванию КРС, лошадей и т.д.

Регулирование негативного воздействия сельхозугодий имеет ряд особенностей, которые требуют специального подхода. Например, на водосборе одного водного объекта может находиться большое число примыкающих друг к другу мелких земледельческих хозяйств, каждое из которых оказывает незначительное воздействие на окружающую среду, и, в рамках общей логики, не подлежит регулированию. При этом их совокупное воздействие может быть существенным. Имеются и другие особенности.

По этой причине представляется целесообразной разработка серии обновляющихся справочников по экологически-ориентированному земледелию, специфицированных по сельскохозяйственным культурам, природно-климатическим условиям и пр. В них должны быть представлены научно-обоснованные рекомендации по агротехническим приемам, которые обеспечивают наименьшее воздействие на окружающую среду.

Учитывая специфику и социальную значимость сектора, рекомендуется в качестве основного механизма внедрения эко-приемов земледелия рассматривать не принуждение, а информирование, разъяснение выгод и представление предпочтений.

Д) Увязать систему выдачи КЭР на основе НДТ с целями и бассейновыми программами СКИОВО.

4. Государственное поощрение.

Поскольку диффузное загрязнение водных объектов представляет серьезную угрозу устойчивости социально-экономического развития страны, то налицо необходимость самого активного участия государства (в лице федеральных и региональных органов власти) в решении проблемы.

Схематично государственные меры регулирования любой сферы деятельности можно разбить на две группы: ограничение и поощрение. Для регулирования точечных источников негативного воздействия на водные объекты применяются, в первую очередь, ограничительные меры.

Источники диффузного загрязнения водных объектов имеют ряд особенностей, которые затрудняют использование ограничительных мер:

- затрудненность инструментального контроля показателей воздействия на окружающую среду;
- сложности при определении круга юридических лиц, которым может быть вменена ответственность (накопленный экологический ущерб, несколько объектов аэротехногенного загрязнения водосборной площади и пр.);
- неразвитость научно-методического обеспечения оценок негативного воздействия (при объективной сложности проблемы).

По этой причине целесообразно расширить применение инструментов государственного поощрения к разработке и повсеместному внедрению способов хозяйствования и технологий, при которых сокращается негативное воздействие на водные объекты диффузных источников загрязнения.

В мировой практике хорошо зарекомендовали себя, например, налоговые льготы и прямые субсидии сельхозпроизводителям, применяющим рекомендованные агротехнические приемы (интересен, например, британский опыт³¹). Так, в частности, британский фермер может рассчитывать на государственную финансовую поддержку (из нескольких источников) своей деятельности, если:

- использует не менее 5 % своих земель под мероприятия, направленные на сохранение окружающей среды;
- соблюдает определенные правила ведения сельского хозяйства, нацеленные на снижение поступления нитратов в водные объекты. Соблюдение таких правил проверяет специальная инспекция.

В целенаправленной государственной поддержке нуждается развитие информационной и научно-методической базы предотвращения диффузного загрязнения, построение сети научно-технических консультационных центров по применению экологически-ориентированных технологий хозяйствования и пр.

³¹ Rules for farmers and land managers to prevent water pollution/Официальный сайт Правительства Ее Величества. Режим доступа: <https://www.gov.uk/government/publications/farming-rules-for-water-from-april-2018> (дата обращения 01.03.2018)

Означенная выше специфика проблем и их масштаб определяют необходимость прямого финансирования крупных мероприятий. Например, таких, как рекультивация заброшенных объектов, сбор и очистка ливневых стоков населенных пунктов с низкой бюджетной обеспеченностью и пр.

Таковы основные принципы и очертания механизмов решения задачи снижения негативного воздействия на водные объекты диффузных источников загрязнения.

Еще раз подчеркнем, что поставленная задача может решаться только в контексте общей государственной политики в сфере охраны окружающей среды. Однако для скоординированности усилий, систематизации работ и повышения обоснованности расходования бюджетных средств целесообразно утвердить предложенную или подобную Концепцию, хотя бы в виде Руководящего документа Минприроды России.

3.2.2.3 Вопросы технического регулирования источников диффузного загрязнения

В дополнение к изложенным подходам по совершенствованию водоохранного законодательства и внедрению общих принципов регулирования диффузного загрязнения, а также в рамках развития отдельных предложений, рассмотренных выше, представляется целесообразным разработать систему стандартизации, которая охватывала бы каждую предметную область хозяйственной и иной деятельности, формирующей источники диффузного загрязнения, с учетом химического состава, условий формирования, объемов и режима поступления загрязненных вод. Данное направление представляется весьма актуальным, поскольку, как показывает практика, многие проблемы снижения диффузного загрязнения водных объектов связаны с системой менеджмента организаций, а также субъектов хозяйственной деятельности в пределах водосборных территорий.

В стандартах, устанавливающих правила охраны природных вод от ИДЗ, должны быть предусмотрены организационно-технические решения и методы обеспечения водно-экологической безопасности в процессе деятельности ИДЗ-генерирующих субъектов, в том числе:

- способы установления параметров качества и количества ЗВ, опасных и потенциально способных попасть в водный объект;
- практики землепользования, технологические процессы, способы задержания, перехватывания загрязнений (загрязненных вод), методы их доочистки или снижения до допустимого уровня объемов поступления и/или концентраций ЗВ, образуемых ИДЗ-генерирующим субъектом данного вида хозяйственной или иной деятельности;
- спецификация необходимых мероприятий, планировочных и конструктивных узлов для охраны природных водных объектов от диффузного загрязнения.

Хозяйствующие субъекты готовят комплект «Стандартов организации» (СТО) с рекомендуемым названием «Система менеджмента водно-экологической безопасности. Снижение объемов загрязнений, поступающих от диффузных источников».

Возможный (минимальный) перечень таких документов:

- СТО «Правила содержания производственных площадок, обеспечивающие предотвращение загрязнения природных вод»;
- СТО «Сбор, накопление, доочистка и утилизация вод, поступающих от источников диффузного загрязнения»;
- СТО «Порядок функционирования систем накопления и дренажа вод, поступающих от источников диффузного загрязнения»;
- СТО «Порядок обращения с отработанными маслами, кислотами ГСМ и промасленной ветошью» (при необходимости);
- СТО «Защита природных вод от попадания в них жидких отходов и мусора»;
- СТО «Технологический регламент обращения с водами источников диффузного загрязнения» (в заданной предметной области хозяйствования).

На основе разработанных и принятых в установленном порядке стандартов ИДЗ-генерирующим субъектом разрабатываются программы и планы охраны вод от диффузного загрязнения, устанавливаются последовательность и сроки реализации предполагаемых водно-экологических мероприятий. Программы и планы ИДЗ-генерирующих организаций подлежат согласованию с органом контрольно-надзорной деятельности. Выполнение мероприятий по предотвращению диффузного загрязнения природных вод хозяйствующими субъектами подтверждается органом по сертификации, уполномоченным (нотифицированным) природоохранным органом по оценке соответствия безопасности ИДЗ требованиям соответствующего стандарта.

Исходя из изложенного в настоящем разделе, общая схема внедрения нормативно-технического регулирования источников диффузного загрязнения выглядит следующим образом.

На первом этапе осуществляется разработка и введение серии стандартов ГОСТ Р 17.1.1. «Охрана природы. Гидросфера. Правила охраны природных вод от источников диффузного загрязнения (заданной предметной области деятельности)».

На втором этапе ИДЗ-генерирующий субъект подбирает соответствующий ГОСТ и на его основе разрабатывает комплект стандартов организации – СТО «Система менеджмента водно-экологической безопасности. Снижение объемов загрязнений, поступающих от диффузных источников».

На следующем этапе происходит внедрение экологически ориентированных технологий, наилучших практик землепользования, планировочных и конструктивных решений при осуществлении того или иного вида деятельности, технологического процесса и др. в соответствии с разработанным комплектом СТО.

Завершающим этапом является сертификация на соответствие требованиям соответствующего стандарта ГОСТ Р и СТО.

В качестве вспомогательного документа для настоящей Концепции разработаны Рекомендации по стандартизации, содержащие организационно-методические положения в области стандартизации организаций, заинтересованных в снижении диффузного загрязнения речных вод. Целью Рекомендаций является содействие развитию корпоративной политики в части решения задач предотвращения или снижения диффузного загрязнения водных объектов, требующего повышенной экологической ответственности организаций и их персонала. Документ предусматривает формирование общих положений менеджмента качества, обеспечивающего сокращение или предотвращение диффузного загрязнения водных объектов, и может быть использован при разработке отдельных стандартов серии ГОСТ Р 17.1.1. «Охрана природы. Гидросфера. Правила охраны природных вод от источников диффузного загрязнения (заданной предметной области деятельности)». Стандарты этой серии разрабатываются в соответствии с требованиями основополагающих документов серии ГОСТ Р 1.0, стандартов серии ГОСТ Р 17. «Охрана природы», а также ГОСТ Р ИСО 15489–1–2007 «Система стандартов по информации».

3.2.3 Совершенствование системы оценки качества вод и экологического состояния водных объектов с учетом диффузных источников формирования химического состава вод и их фонового состояния

Состав воды поверхностных водных объектов формируется в результате физических, химических и биологических процессов, протекающих на водосборной территории (включая выпадение осадков, массоперенос в зоне аэрации и в связанных с поверхностными подземных водах) и в самом водном объекте. Специфичность таких процессов определяется рядом природных условий: климатические особенности, морфологические и литологические характеристики, типы почв, характер растительного покрова и пр. Разнообразие перечисленных факторов на территории России имеет следствием существенную территориальную вариативность природного состава поверхностных вод. Несмотря на требования Закона об охране окружающей среды и Постановление Правительства РФ от 28 июня 2008 г. № 484, нормативов качества воды поверхностных водных объектов, обеспечивающих учет природных особенностей, до сих пор нет. На практике при оценке качества воды используются единые для всей территории страны нормативы ПДК вредных веществ в водных объектах рыбохозяйственного значения (ПДК_{рх}). Одним из следствий сложившейся ситуации является отсутствие объективной базы для установления целей и основных направлений (приоритетов) при планировании водоохранной деятельности. По данным Росгидромета,

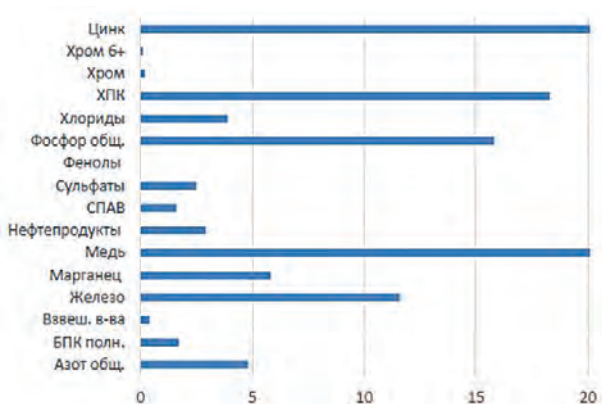


Рис. 3.7. Доли (%) масс загрязняющих веществ, поступающих по выпускам сточных вод в р. Чусовая в период зимней межени, от масс этих же веществ, проходящих через замыкающий створ

основными ЗВ в бассейне Волги являются соединения железа, меди, нефтепродукты, фенолы, органические вещества (по БПК₅ и ХПК), аммонийный и нитритный азот, соединения цинка и марганца. При этом критерии качества воды, применяемые Росгидрометом, базируются, главным образом, на ПДК_{рх}. В то же время сверхнормативное содержание многих из перечисленных ЗВ наблюдается и в створах, не подверженных антропогенному воздействию, что свидетельствует о природном характере «загрязнения». Наличие природного фона признается и Росгидрометом, однако это никак не влияет на формальную оценку качества воды (по УКИЗВ). Данные исследований ставят под сомнение и решающую роль выпусков сточных вод в формировании качества воды в масштабе бассейна (не на локальном уровне). Сопоставление сумм масс ЗВ, сбрасываемых в водные объекты согласно отчетности 2–ТП (водхоз), с массами этих ЗВ, проходящими через контрольный створ, показывает, что совокупное влияние точечных источников на качество воды в бассейне может быть незначительным даже для крупных промышленных центров. Пример по р. Чусовой (приток Камы), в бассейне которой находятся крупнейшие предприятия цветной и черной металлургии, приведен на *рис. 3.7*³².

В приведенном примере о ряду ЗВ (например, по нефтепродуктам) более заметный вклад в антропогенное формирование качества воды может вносить поверхностный сток с территорий городов, а по соединениям азота и фосфора – с сельхозугодий.

При оценке качества поверхностных вод, определении целей и приоритетов водоохранной деятельности в речном бассейне необходимо:

³² Схема комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО) бассейна р. Камы. Режим доступа: http://kambvu.ru/skiovo_i_ndv.html (дата обращения 01.11.2019).

- выявлять антропогенную составляющую загрязнения ВО, для чего, в свою очередь, необходимо учитывать природные особенности состава поверхностных вод;
- среди управляемых антропогенных источников загрязнения выявлять те, воздействие которых на формирование качества воды подтверждено данными наблюдений и оценивается как существенное;
- особое внимание следует уделять диффузным источникам загрязнения.

При решении задач сокращения воздействий ИДЗ представляется целесообразным использование широко апробированного методологического подхода к оценке состояния водных объектов, установлению целей и приоритетов водоохранной деятельности в речном бассейне, основанного на аппарате целевых показателей качества воды³³.

Приведем основные положения предлагаемого методологического подхода.

Как уже было отмечено, НКВ, учитывающих природные особенности формирования стока, до сих пор нет. Однако Водный кодекс РФ дает возможность применения другого инструмента – целевых показателей качества воды водных объектов (ЦП), не раскрывая, правда, содержания этого термина.

ЦП выгодно отличаются от нормативов качества воды тем, что:

- устанавливаются на определенный срок (срок реализации СКИОВО);
- согласование перечня и значений ЦП производится на бассейновом уровне с привлечением заинтересованных сторон (в рамках СКИОВО, которая согласуется Бассейновым советом и утверждается БВУ);
- предусмотрена возможность корректировки ЦП по мере накопления информации (в рамках регламентной процедуры корректировки СКИОВО).

Предлагается следующее определение термина ЦП: *целевые показатели качества воды поверхностных водных объектов* – значения показателей химического состава и физических свойств воды, на достижение которых направлены водоохранные мероприятия СКИОВО. ЦП устанавливаются для расчетных участков речного бассейна, выделенных по различию природных условий формирования качества поверхностных вод.

Предлагается различать долгосрочные и краткосрочные ЦП качества воды поверхностных водных объектов.

Значения долгосрочных ЦП рассчитываются в общем случае на основе данных наблюдений за качеством воды на эталонных (не подверженных ощутимому антропогенному воздействию) пунктах контроля качества воды (ПКК), расположенных на расчетных участках.

³³ Беляев С. Д. К вопросу учета пространственной дифференциации природной среды при планировании водоохранных мероприятий // Географический вестник = Geographical bulletin. – 2017. – №4(43). – С.81–96.

Очевидно, что долгосрочные ЦП, определенные подобным образом, косвенно учитывают и те антропогенные факторы, которые не могли по тем или иным причинам быть идентифицированы или управление которыми в настоящий момент не представляется возможным. К подобным факторам можно отнести, например, многолетнее техногенное загрязнение водосборных территорий старопромышленных регионов.

При таком определении долгосрочные ЦП не являются ни нормативами качества воды, ни региональным фоном. Это отраслевые долгосрочные цели, для достижения которых в рамках СКИОВО разрабатывается программа бассейновых водоохранных мероприятий. Долгосрочные ЦП являются параметрами управления водными ресурсами и водопользованием, которые назначает и контролирует один государственный орган – БВУ. Так создаются предпосылки к искоренению существующего пересечения полномочий органов управления в рассматриваемой сфере. Краткосрочные ЦП представляют собой прогнозируемые значения показателей состояния водных объектов, представленных в числе долгосрочных ЦП, которые ожидаются быть достигнутыми в результате утвержденного плана водоохранных мероприятий очередного этапа реализации СКИОВО (3–5 лет).

Использование ЦП при управлении водопользованием и планировании водоохранной деятельности позволяет (в отличие от ПДКрх) учитывать существующие территориальные особенности формирования химического состава поверхностных вод, что создает предпосылки для обоснованного выбора приоритетных водоохранных мероприятий.

После того как долгосрочные ЦП установлены, производится оценка актуального состояния бассейна на основе сопоставления наблюдаемых на ПКК концентраций ЗВ с долгосрочными ЦП. ЗВ, концентрация которого выше долгосрочных ЦП, считается *приоритетным*. В такой терминологии задачей водоохранной деятельности является снижение концентраций приоритетных ЗВ до значений долгосрочных ЦП.

Улучшения приоритетных показателей качества воды можно добиться, воздействуя на управляемые источники поступления в водный объект соответствующих ЗВ, как точечные (выпуски сточных вод), так и рассредоточенные. После того как по каждому ПКК установлены приоритетные ЗВ, производится поиск управляемых источников их поступления в водный объект.

Основные позиции предлагаемой методологии определения целей и приоритетов водоохранной деятельности в речном бассейне могут быть сформулированы так:

- стратегия водоохранной деятельности строится для речного бассейна с учетом территориальной дифференциации природных и антропогенных условий формирования качества воды (бассейн разбивается на расчетные участки);
- целью водоохранной деятельности считается достижение долгосрочных ЦП на всех ПКК; значения долгосрочных ЦП устанавливаются в общем

случае на основе данных гидрохимических наблюдений на эталонных ПКК;

- выбор приоритетных направлений водоохранной деятельности основывается на последовательном (от истоков к устью) выявлении превышений наблюдаемых на ПКК значений концентраций ЗВ над соответствующими долгосрочными ЦП и оценке влияния на эти превышения источников поступления ЗВ (точечных и рассредоточенных), расположенных выше ПКК;
- в число приоритетных включаются только мероприятия, направленные на сокращение поступления ЗВ от управляемых источников, существенность вклада которых в превышения наблюдаемых на ПКК значений концентраций ЗВ над ЦП подтверждается объективными данными.

Ниже приведен общий порядок определения целей и приоритетов водоохранной деятельности в речном бассейне в рамках предложенного подхода.

1) *Выбор эталонных ПКК.* Обязательное требование – отсутствие выше ПКК зафиксированных в отчетности по форме 2–ТП (водхоз) выпусков сточных вод в поверхностные водные объекты, а также промышленных предприятий, городов, с/х комплексов и других хозяйственных объектов. Эталонные ПКК и их тип отмечаются на используемой картографической основе.

2) *Определение границ расчетных участков.* По сходству/различию природных условий формирования качества воды бассейн разбивается на расчетные участки. Их выделение производится на основе анализа природных условий формирования речного стока с использованием доступного картографического материала. Размеры объекта управления позволяют предложить в качестве основного источника картографической информации при выделении речных участков Национальный атлас России³⁴. В этом атласе содержится исчерпывающий перечень тематических карт, включая ландшафтно-геохимическую карту, которая может считаться базовой при определении границ речных участков.

Предлагается следующий порядок установления границ расчетных участков с целью учета различий в природных условиях формирования качества воды водных объектов:

- на карту речного бассейна выносятся границы физико-географических зон (областей) и ПКК (с выделением эталонных ПКК);
- производится предварительное разбиение бассейна по границам физико-географических областей, при этом предварительные границы расчетных участков по возможности совмещаются с близлежащими границами водохозяйственных участков, или водоразделами, или водотоками;

³⁴ Национальный атлас России: в 4 томах. – Т. 2. Природа. Экология. – М.: Роскартография, – 2007. – 495 с.

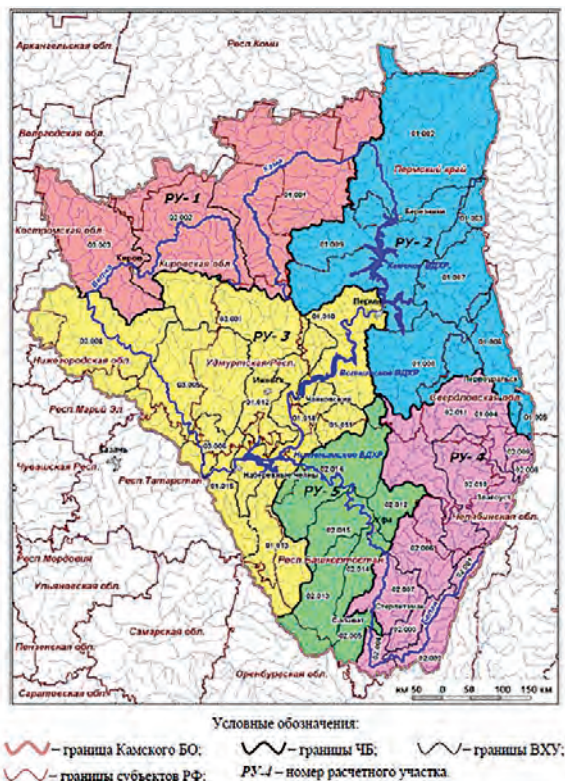


Рис. 3.8. Карта-схема расчетных участков бассейна р. Кама для установления целевых показателей качества воды

- на основе анализа ландшафтно-геохимической карты производится дополнительное членение предварительных расчетных участков с учетом преимущественных типов и/или сочетаний геохимических ландшафтов, а также расположения эталонных ПКК.

Границы расчетных участков и выносятся на карту речного бассейна (рис. 3.8³⁵).

3) На каждом расчетном участке определяются долгосрочные ЦП. Для расчета значений долгосрочных ЦП используются данные многолетних гидрохимических наблюдений по эталонным ПКК.

Значения долгосрочных ЦП в общем случае принимаются равными верхнему квартилю распределения наблюдаемых значений концентрации соответствующего ЗВ.

³⁵ Схема комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО) бассейна р. Камы. Режим доступа: http://kambvu.ru/skiovo_i_ndv.html (дата обращения 01.11.2019).

Долгосрочные ЦП будет считаться достигнутыми на «грязном» ПКК (любом неэталонном), если медиана наблюдаемых значений концентраций ЗВ будет не больше значения долгосрочных ЦП. Использование в качестве ЦП верхнего квартиля концентраций по данным эталонного ПКК, в отличие от медианы, продиктовано тем, что присутствие человека с современным обеспечением его жизнедеятельности обязательно оказывает непренебрежимое воздействие на окружающую среду.

Расчет, например, по подбассейну р. Камы показал, что значения долгосрочных ЦП по многим показателям могут существенно превосходить ПДК_{рх} (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Значения некоторых долгосрочных целевых показателей качества воды по бассейну р. Камы

ЗВ	ПДК _{рх}	РУ-1	РУ-2	РУ-3	РУ-4	РУ-5
Cl	300	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Cu	0,001	2	3	1	5	6
Fe	0,1	10	8	6	5	6
Mg	40	<0,5	<0,5	1	<0,5	1
Mn	0,01	8	10	3	6	15
NH ₄	0,5	1	1	1	1	1
NO ₂	0,08	1	1	1	1	2
NO ₃	40	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
SO ₄	100	<0,5	1	1	0	3
Zn	0,01	1	2	1	3	3
Нфп	0,05	2	2	1	2	2
ХПК	15*	2	1	2	1	2

Примечание: «<0,5» означает, что ЦП < 0,5 ПДК_{рх}, что соответствует ЦП = 0 в принятой системе округления (употребляется во избежание неверной трактовки нулевого значения); «*» – отмечены значения, которых нет в числе ПДК_{рх}.

Значения долгосрочных ЦП отражают природные особенности РУ.

4) По каждому ПКК устанавливаются приоритетные ЗВ: т.е. те, концентрации которых превышают значения долгосрочных ЦП. Установление приоритетных ЗВ дает наглядное представление об основных направле-

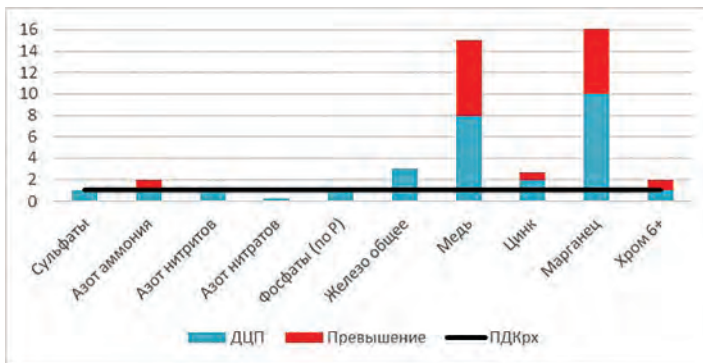


Рис. 3.9. Результаты наблюдений в 2018 г. по створу на р. Чусовая ниже г. Первоуральска в сравнении с ДЦП и ПДКрх (в долях ПДК)

ниях водоохранной деятельности по участкам бассейна (рис. 3.9) с целью снижения концентраций приоритетных ЗВ до значений долгосрочных ЦП.

Поскольку ПДКрх, при всех недостатках, может считаться некоторой мерой опасности ЗВ для биоты, предлагается сопоставлять наблюдаемые концентрации ЗВ не только с долгосрочными ЦП, но и с ПДКрх. Установлена следующая схема приоритетов (1 – высший приоритет):

1 – $Me > ДЦП$ и $Me > ПДКрх$ (медиана наблюдаемых концентраций ЗВ превосходит и значение ДЦП, и значение ПДКрх);

2 – $Me > ДЦП$ и $Me \leq ПДКрх$;

3 – $Me \leq ДЦП$ и $Me > ПДКрх$.

Последовательно (от истока к замыкающему створу) определяются основные управляемые источники поступления приоритетных ЗВ. Водоохранные мероприятия должны быть направлены, в первую очередь, на сокращение поступления в ВО ЗВ приоритета 1, затем – 2 и т.д.

Если для какого-либо участка речного бассейна имеется действующая математическая модель, то выбор приоритетных источников загрязнения может быть произведен по результатам моделирования.

По итогам проведенных работ для речного бассейна (подбассейна, зоны СКИОВО) определяется:

- по каждому ПКК: долгосрочные ЦП (показатели и их значения) и перечень приоритетных ЗВ (с указанием приоритетов);
- перечень диффузных и точечных источников загрязнения с указанием приоритетности (по наивысшему из присвоенных приоритетов для ЗВ, поступающих в водный объект от этого источника);
- перечень мероприятий по уточнению источников поступления ЗВ и условий формирования качества воды в водном объекте.

Эти перечни включаются в Перечень мероприятий СКИОВО, составляют основу для разработки планов водоохранной деятельности.

На основе предварительно согласованного Плана водоохранных мероприятий производится прогноз изменения концентраций приоритетных ЗВ по всем ПКК. Результаты прогноза представляются в виде краткосрочных ЦП.

Краткосрочные ЦП, наряду с натуральными показателями (длина лесозащитных полос, введение в строй плановых мощностей очистных сооружений ливневого стока и пр.) могут являться контрольными при оценке эффективности реализации СКИОВО. Кроме того, сопоставление значений краткосрочных и долгосрочных ЦП позволяет оценить соответствие степени приближения к долгосрочным ЦП, установленным плановыми сроками реализации СКИОВО. В случае очевидного отклонения возникают основания для формирования заявок на предоставление предусмотренных средств государственной поддержки для реализации дополнительных водоохраных мероприятий на очередном этапе реализации СКИОВО и/или проведения исследований по уточнению долгосрочных ЦП.

Следует отметить, что контроль исполнения Плана следует проводить главным образом по натуральным показателям, поскольку вычисление краткосрочных ЦП связано с ошибками прогнозирования.

Достигнутые в результате реализации очередного этапа СКИОВО концентрации ЗВ по всем ПКК сопоставляются с краткосрочными ЦП и долгосрочными ЦП. Если ЦП не достигнуты, анализируются причины, намечаются дополнительные мероприятия, производится уточнение ЦП.

3.3 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КАДРОВОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ

Повсеместный характер формирования диффузного загрязнения и многочисленность его источников, возникающих практически в любой области хозяйственной деятельности, начиная от локального воздействия при ведении личного подсобного хозяйства и заканчивая масштабными преобразованиями природы в результате развития территорий, промышленного и городского строительства, сельскохозяйственного освоения земель, добычи полезных ископаемых, ставит перед обществом и государством широкий курс вопросов экологического воспитания и образования.

В связи этим очевидно, что проблема диффузного загрязнения должна рассматриваться не как отдельная предметная область знаний или практических навыков кадрового состава в отдельно взятой отрасли, но в контексте общей экологической культуры населения, бизнеса, хозяйствующих субъектов и органов власти, действующих в интересах устойчивого разви-

тия и реализующих в своей повседневной и профессиональной деятельности принципы «зеленой» экономики.

Несмотря на то что накоплен достаточно большой опыт в области экологического образования, актуальным остается вопрос о преемственности экологической культуры и экологического мировоззрения³⁶, начиная от дошкольных учреждений, и далее – по цепочке – общеобразовательные школы, высшие учебные заведения и, наконец, государственные и негосударственные организации и предприятия, непосредственно связанные с негативным воздействием на окружающую среду.

Формирование экологической культуры, развитие экологического образования и воспитания относятся к приоритетным задачам реализации государственной политики в области экологического развития России на ближайшую перспективу. Одним из основных механизмов решения этой задачи является «включение вопросов охраны окружающей среды... и требований к формированию основ экологической грамотности у обучающихся в новые образовательные стандарты»³⁷. Однако, принимая во внимание чрезвычайную важность рассматриваемой темы для безопасности нашей страны, предложенные механизмы в данной формулировке представляются концептуально слабыми и явно недостаточными для подготовки специалистов, способных адекватно отвечать экологическим вызовам глобального, национального или регионального масштабов в быстро меняющемся современном мире.

Сегодня в российской школе осуществлена «экологизация» предметов естественно-научного и общественно-научного циклов. Образовательный процесс в области экологии продолжает сводиться преимущественно к преподаванию отдельных классических предметов, таких как биология, география, физика и др. (всего 8 учебных предметов), расширению их экологической составляющей и практическим мероприятиям по охране окружающей среды.

В результате экологические знания распыляются по отдельным школьным дисциплинам, каждая из которых имеет свои цели и задачи, опирается на присущую только ей терминологическую базу и методы познания. При таком подходе не могут быть в полной мере реализованы принципы предметной целостности, системности получения знаний и непрерывности образовательного процесса, не говоря уже о выполнении таких задач, как «овладение экосистемной познавательной моделью»³⁸ и ее применение в целях

³⁶ См., например, Указ Президента РФ от 19.04.2017 № 176 «О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года», где в перечне внутренних вызовов экологической безопасности России стоят низкий уровень экологического образования и экологической культуры населения.

³⁷ См. «Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года», утв. Президентом РФ 30.04.2012.

³⁸ Понятие и задачи, с ним связанные, сами по себе требуют корректировки и/или дополнительного разъяснения.

прогноза экологических рисков для здоровья людей, безопасности жизни, качества окружающей среды и осознание значимости концепции устойчивого развития³⁹», прописанных в том же ФГОСе.

«Экологическое образование – один из перспективных, но проблемных аспектов отечественного образования, требующий методологического осмысления. С одной стороны, важность экологических проблем очевидна и постоянно декларируется на уровне всех социальных институтов от образования до политики. С другой стороны, экология как предмет не существует в средней школе; профессиональный стандарт эколога не разработан, а образование «размыто» по высшим учебным заведениям как естественно-научного, так и технического профиля, что создает различные модели профессиональной подготовки, не всегда согласующиеся даже в базовой части»⁴⁰.

Ориентация учебных государственных программ и школьной преподавательской практики на частнонаучное и прикладное экологическое знание не способно сформировать достаточную экологическую культуру и мировоззрение человека на современном этапе развития общества⁴¹. Учащиеся получают определенный набор в чем-то безусловно полезных знаний, но в действительности у них не формируются личностные поведенческие качества и экологически ориентированные навыки и установки жизнедеятельности. Происходит это во многом потому, что школьникам не хватает позитивного наглядного примера реализации взрослыми декларируемых идей на локальном уровне муниципального района, на территории которого они проживают, в семье и в самой школе. Большинство городских детей школьного возраста имеют смутное представление о природе родного края. Им не хватает возможностей сопоставить те знания, которые они получают на уроках, с настоящей живой природой. Как правило, опыт экологически ориентированной деятельности среднестатистического учащегося общеобразовательной школы сводится к акциям «Сбор макулатуры», «Посади дерево» или «Экологический десант». В отсутствие или при недостатке воспитательного элемента в этой области полученные знания становятся абстрактными и отчужденными от реальности их жизни в настоящем и будущем. Отсталость такого подхода заметным образом проявляется на фоне передо-

³⁹ Образование в целях устойчивого развития подразумевает изучение таких вопросов, как «...сокращение масштабов нищеты, гражданственность, мир, этичность, ответственность в локальном и глобальном контексте, демократия и управление, справедливость, безопасность, права человека, здравоохранение, равноправие полов, культурное многообразие, развитие сельских и городских районов, экономика, структуры производства и потребления, корпоративная ответственность, охрана окружающей среды, управление природными ресурсами и биологическое и ландшафтное разнообразие», т.е. не ограничивается проблемами загрязнения окружающей среды. См. Стратегию ЕЭК ООН для образования в интересах устойчивого развития. CEP/AC.13/2005/3/Rev.1 23 March 2005.

⁴⁰ Из материалов международной научно-практической конференции «Современная экология: образование, наука, практика» (г. Воронеж, Воронежский государственный университет, 4–6.10.2017 г.).

⁴¹ «Нерешенность этого дидактического вопроса рождает ряд проблем организационного, содержательного, методического и кадрового характера». Более подробно см.: «Концепция общего экологического образования в интересах устойчивого развития», ФГБНУ «Институт стратегии развития образования».

вых мировых тенденций развития непрерывного экологического образования как неперемного условия устойчивого развития⁴².

Большое педагогическое значение для развития экологического сознания, экологической культуры школьников имеет заинтересованность школьной администрации в целом, которая, в свою очередь должна поощряться государством на постоянной основе⁴³.

Действенный принцип для экологического образования: «Скажи мне – и я забуду. Покажи мне – и я запомню. Вовлеки меня – и я научусь».

Среди мероприятий экологической направленности, которые можно было бы более широко проводить в рамках формального обучения и неформального учебного процесса (повседневная школьная деятельность и политика в целом) для усиления экологической составляющей школьного воспитания и образования, можно предложить, например, следующие:

- преодоление оторванности получаемых в школе знаний от окружающей среды путем проведения уроков на открытом воздухе, возрождения/расширения системы дополнительного образования в рамках эколого-биологических центров, школьных лесничеств и/или станций юных натуралистов, проведения фенологических наблюдений;
- поощрение «зеленых» инициатив и технологий (с наглядной демонстрацией целей и результатов и последующим широким обсуждением) внутри школы и пришкольной территории (раздельный сбор мусора, «умное» светодиодное освещение, «зеленая крыша», которая может служить площадкой для изучения биологии и экотехнологий, обустройство пришкольной территории, снижение доли водонепроницаемых поверхностей, экспериментальный школьный сад/огород и др.);
- использование и наглядная демонстрация ресурсосберегающих технологий: опытное внедрение источников возобновляемой энергии (солнечных батарей и ветряков), запорная арматура в туалетных комнатах, обустройство сбора дождевой воды, экспериментальное биокомпостирование и др.

Практика школьных лесничеств действует в отдельных регионах России, однако охват школьников подобными программами представляется недостаточным.

⁴² Стратегия ЕЭК ООН для образования в интересах устойчивого развития. CEP/AC.13/2005/3/Rev.1 23 March 2005.

⁴³ В США, например, действует Закон об образовании в области охраны окружающей среды, предусматривающей стажировку студентов, выдачу грантов и наград как учащимся, так и преподавателям за вклад экологическое образование, обеспечивающий мотивацию деятельности в области экологического образования, поощряющий сотрудничество между организациями и проч. Источник: Электронный портал Агентства по охране окружающей среды США (<https://www.epa.gov/education/national-environmental-education-act#s4>).

Так, например, в Республике Марий Эл с 1969 года действует движение школьных лесничеств. В 2019 году в республике насчитывается 71 школьное лесничество с количеством детей, вовлеченных в данное движение, – 813 чел.⁴⁴

В Приморском крае разработаны специальные учебные программы и детально проработанные пособия для проведения внешкольных занятий⁴⁵.

Кроме того важно, чтобы учитель сам был носителем экологической культуры и обладал экологическим сознанием и достаточными компетенциями в данной области. В то же время анализ существующей ситуации показывают явный дефицит компетентных специалистов и недостаточность общего уровня экологической грамотности, в том числе среди учителей. Так, статистические исследования, проведенные в нескольких регионах РФ, показали, что около 77 % опрошенных педагогов знают о необходимости реализации образовательных программ в целях устойчивого развития во всех образовательных учреждениях на всех ступенях образования. При этом только небольшая часть опрошенных (около 11 %) оценили свою методическую подготовку как достаточную для реализации соответствующих программ, а 30 % затруднились ответить, что свидетельствует об их слабом знакомстве с идеями устойчивого развития⁴⁶.

Недостаточная степень детализации образовательных программ⁴⁷ в высших учебных заведениях в области устойчивого развития, внедрения экологически ориентированных процессов (по отраслям экономики), инновационных ресурсосберегающих технологий ведения хозяйственной деятельности и землепользования, способствующих в том числе предотвращению формирования источников диффузного загрязнения природной среды, будет оказывать негативное влияние на формирование рынка труда в России, по крайней мере, еще несколько десятков лет. Причина не столько в отсутствии возможностей такой подготовки, сколько в отсутствии реального государственного заказа и неразвитости соответствующей конъюнктуры в производственной и непроизводственной сферах и, как следствие, –

⁴⁴ Источник: А. В. Кусакин «Экологическое образование и воспитание в республике Марий Эл: история и современное состояние». Материалы VI Всероссийской конференции по экологическому образованию, Москва, 2019.

⁴⁵ См.: А.В. Иванов Практикум для работы школьных лесничеств Приморского края (учебное пособие), Владивосток, 2018. Электронный ресурс: (<https://fenolog.rgo.ru/sites/default/files/publications/practicumschool-forest-units.pdf>).

⁴⁶ Более подробно результаты оценки см. Ермаков Д.С. Образование в интересах устойчивого развития в России: состояние, оценка прогресса и перспективы // Экологическое образование: до школы, в школе, вне школы. № 2, 2011.

⁴⁷ В РФ по программам бакалавриата и магистратуры реализуются направления подготовки 05.00.06 «Экология и природопользование» – в классических, аграрных, технических, лесотехнических, педагогических и др. университетах), 20.00.01 «Техносферная безопасность», 20.00.02 «Природообустройство и водопользование» – на инженерных и технологических факультетах вузов.

в низкой востребованности специалистов и реальной возможности получить хорошо оплачиваемую работу и/или сделать карьеру в данной области.

Среди угроз России в области рационального природопользования наряду с неблагоприятным состоянием окружающей среды (загрязнением воздуха, водных объектов, почв, деградацией биотических компонентов и экосистем) и ростом объемов отходов производства и потребления выделяется отсутствие рынка экологических услуг⁴⁸. При этом к основным составляющим рынка относятся:

- учет и создание новых рабочих мест на предприятиях и в организациях, ориентированных на экологически чистое производство и/или оказывающих экологические услуги;
- подготовка специалистов и наращивание кадрового потенциала в экологической сфере.

Проблема подготовки, профессиональной переподготовки, повышения квалификации кадров по организации и управлению охраной объектов природной среды, ведению экологически ориентированного бизнеса, внедрению замкнутых, малоотходных и экологически безопасных технологий, практик землепользования и видов работ, снижающих сосредоточенное и диффузное загрязнение, оказанию консультационных услуг и осуществлению финансово-экономических видов деятельности в области экологии, остается нерешенной как в количественном, так и в качественном отношении. В связи с этим необходимо проведение маркетинговых исследований по оценке потенциальных возможностей рынка экологических услуг как по отраслям хозяйственной деятельности, так и по регионам, поскольку спрос и предложение на экологические услуги во многом определяется особенностями региональных социальных и экономических процессов, экологическими условиями и природно-ресурсным потенциалом регионов⁴⁹.

Такого рода исследования позволят более объективно оценить необходимое количество ежегодной подготовки специалистов с учетом ориентации на рынок труда, спрос на соответствующие кадры и уровень их подготовки. Например, принятию решения об открытии новой специальности или направления подготовки в вузе должен предшествовать маркетинговый анализ внешней и внутренней среды, который предусматривает изучение мнений руководителей ведущих предприятий региона о том, какие специалисты понадобятся на предприятиях в ближайшее время, какие направления деятельности предприятий будут развиваться и т.д. Также важно провести маркетинговый анализ рынка образовательных услуг региона. Анализ внутрен-

⁴⁸ Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года, утв. Правительством РФ.

⁴⁹ См., например, Коваленко В.И., Кузнецов Л.М. Исследования рынка экологических услуг: учеб. пособие. – СПб.: СПбГИЭУ, 2007.

ней среды включает изучение кадрового потенциала вуза, технической базы, наличие площадей, возможность финансирования.

При планировании разработки и предложения на рынке новой образовательной программы, как подготовки, так и переподготовки или повышения квалификации, необходимо обратить внимание на реализуемость данной программы, ее потенциал и экономическую эффективность. Применение концепции маркетинга при разработке и реализации новой образовательной программы предполагает, кроме учета требований рынков труда (как местного, так и других регионов) – принцип прямой связи, адаптацию учебного процесса на основе изучения ситуации на этих рынках, разработку блока дисциплин и, наконец, воздействие на эти рынки с учетом их требований (принцип обратной связи). Иными словами, исследование включает разработку анкеты для предприятий – потенциальных работодателей; рассылку анкет по предприятиям региона или страны; сбор и анализ полученных данных анкетирования; корректировку учебного плана, согласно полученным данным; экспертную оценку учебного плана со стороны потенциальных работодателей; разработку модели взаимодействия с организациями при подготовке специалистов и управленческих кадров.

Потенциал экологического образования и востребованность соответствующих специалистов достаточно велики, в том числе и бизнес-сообществом. Для бизнеса экологическая компетентность и корпоративная ответственность в сфере предотвращения загрязнения окружающей среды могли бы означать:

- репутационные выгоды, а также общественную поддержку экологически ответственных компаний как элемент продвижения на рынке и конкурентоспособности;
- возможность реализации принципов устойчивого развития.

Крупный бизнес, особенно за рубежом, уже живет в терминах «устойчивого развития». Его вынуждают к этому международные стандарты, например стандарт «Глобальной инициативы по отчетности», где заложен принцип «триединого итога»: экономика компаний, экология производства и социальная политика (в России есть стандарт ИСО 26000).

- рост капитализации, связанной с заинтересованностью компаний внедрить современные подходы в области безопасности своего производства и услуг, социальной и экологической политики для повышения устойчивости своей деятельности;
- для российских компаний – это возможность быть серьезным участником международных рынков (особенно, когда Россия вступила в ВТО).

Если говорить в терминах «зеленой» экономики, то речь идет не только об увеличении кадрового потенциала, но и о формировании так называемого «институционального капитала», когда в обществе накапливаются эколо-

гические знания, на основе которых (раньше или позже) будет осуществляться принятие решений на различных политических уровнях и различных уровнях управления экономикой⁵⁰.

В реестре профессиональных стандартов Минтруда РФ⁵¹ по направлению экологии и устойчивого природопользования ключевые профессиональные стандарты (эколог, инженер-эколог, эколог-природопользователь и др.) отсутствуют, а те, которые утверждены, носят отраслевой или узкоспециальный характер, например:

- специалист по экологической безопасности (в промышленности),
- специалист контроля качества и обеспечения экологической и биологической безопасности в области обращения с отходами,
- специалист-технолог в области природоохранных (экологических) биотехнологий,
- специалист по экологической и радиационной безопасности плавучих атомных станций,
- специалист по агрономии.

Такая ситуация вызвана неразработанностью системы квалификаций в экологической сфере, а также отсутствием (в списке из 35 действующих) соответствующего совета по профессиональным квалификациям⁵².

В отношении диффузного загрязнения высшая школа, безусловно, имеет наибольшее значение. Успех подготовки будущего специалиста, способного внедрять принципы устойчивого развития с акцентом на предотвращение диффузного загрязнения, требует мультидисциплинарного и междисциплинарного подходов, позволяющих получить навыки по установлению связей между явлениями и законами развития в сложных неравновесных системах. Следует поощрять разработку вариативных моделей учебного процесса⁵³ и содержания курсов для подготовки кадров, способных выполнять логически обоснованное исследование проблемы и использовать соответствующие методы ее решения, которые могут быть разработаны в рамках разных наук. Овладение навыками системного анализа способствует формированию творческого мышления, реинтеграции информации на новом качественном уровне с пониманием системных связей.

⁵⁰ Более подробно см. в первоисточниках: 1. Модернизация экономики и устойчивое развитие / С.Н. Бобылёв, В.М. Захаров. Москва: Экономика, 2011. 2. Состояние экологического образования в общеобразовательной школе. Проблемы и перспективы / Е.В. Колесова в сб.: Бюллетень «На пути к устойчивому развитию России» № 67, 2014.

⁵¹ <http://profstandart.rosmintrud.ru/>.

⁵² См. электронный портал Национального агентства по развитию квалификаций (<https://nark.ru/ns/sovetu-po-professionalnym-kvalifikatsiyam/perechen-spk.php>).

⁵³ Вариативность в данном контексте – это обеспечение ориентации учащегося в разных ситуациях, обеспечение разного темпа освоения образовательной программы, разнообразие технологий преподавания, организационных форм, времени и пространства реализации образовательного процесса.

Формирование в сознании обучающегося необходимости решения проблем диффузного загрязнения (как элемент системы экологического образования) имеет следующие особенности:

- опережающий характер (предотвращение или минимизация диффузного загрязнения на этапе проектирования как приоритет перед ликвидацией последствий);
- интегративность (формирование общего экологического знания о диффужном загрязнении из естественнонаучных, гуманитарных и технических предметов в единое целое с целью синтеза нового содержания из существующего);
- метапредметность (дисциплин на основе идей устойчивого развития и современных педагогических технологий);
- создание условий для принятия эколого-гуманистических ценностей, основанных на биосферосовместимых принципах планирования и организации хозяйственной деятельности человека (и сточников диффузного загрязнения);
- преэминентность новых целей и задач с предшествующими в экологическом образовании в целом.

Конечной целью является подготовка специалистов в различных областях хозяйственной (сельское хозяйство, промышленность, строительство, транспорт и проч.) и природоохранной деятельности, обладающих необходимыми компетенциями, осознанностью и мотивацией и готовых к решению задач по минимизации (предотвращению) ущерба природной среде (водным объектам) от источников диффузного загрязнения. Важную роль в этом играет преэминентность, непрерывность, целостность образования, причем не только системы школа – вуз, но и послевузовское образование, которое осуществляется в процессе трудовой деятельности.

В настоящее время наиболее востребованными являются следующие программные мероприятия:

1) формирование экологического мировоззрения населения и ответственности в отношении диффузного загрязнения, механизмов его формирования, подходах и принципах его предотвращения;

2) встраивание принципов устойчивого развития в систему подготовки специалистов на базе среднего профессионального и высшего образования, в том числе:

- корректировка профессиональных стандартов в области обеспечения экологической безопасности с формированием совета по профессиональным квалификациям в области обеспечения экологической безопасности;
- корректировка (модернизация) образовательных программ включением специальных модулей, посвященных освоению компетенций оценки и прогнозированию влияния источников диффузного загрязнения, изучению механизмов и особенностей диффузного загрязнения водных объ-

ектов, а также технологий его предотвращения и снижения негативного влияния, компетенций обоснованного выбора технологий защиты;
– проработка вопроса создания программ подготовки магистров со специализацией охраны природной среды от диффузного загрязнения;

3) разработка типовых программ дополнительного профессионального образования и профессиональной переподготовки для развития компетенций персонала природоохранных ведомств и служб, проектных организаций и предприятий;

4) встраивание в систему экологической пропаганды и социальной рекламы по созданию пула методических разработок и примеров графической и видео агитации.

В связи с тем, что одновременно нарастить количество кадров по организации и управлению охраной водных объектов от диффузного загрязнения до требуемого уровня невозможно, особое внимание должно быть уделено подготовке преподавателей и консультантов, которые, сосредоточившись на первых порах в учебно-консультационных центрах муниципального или регионального уровня, смогут посредством программ повышения квалификации и консультационной деятельности в тесном взаимодействии с государственными экологическими и природоохранными организациями) обеспечить первоочередные потребности.

В Российской Федерации такой положительный опыт имеют учебно-консультационные центры по гражданской обороне, чрезвычайным ситуациям и пожарной безопасности в городских округах.

В США (штате Флорида и др.) функционирует образовательная сеть (Florida Nonpoint Educators Network) в области диффузного загрязнения. Сеть представляет собой информационный ресурс для государственных и местных органов власти, разработчиков, инженеров, некоммерческих организаций, школ и других лиц, целью которых является защита вод Флориды посредством обучения вопросам предотвращения источников диффузного загрязнения. Чтобы стимулировать сотрудничество, по всему штату проводятся региональные встречи для разработки новых идей и обсуждения прошлых успехов и уроков, извлеченных в области предотвращения диффузного загрязнения. На основе результатов, полученных на этих встречах, проводятся семинары, вебинары и создаются типовые учебные материалы. Благодаря обмену идеями и стратегиями, а также взаимодействию по разработке новых и более эффективных информационно-учебных программ создаются предпосылки для лучшей защиты окружающей среды⁵⁴.

⁵⁴ Источник: электронный портал департамента защиты окружающей среды Флориды (<https://floridadep.gov/wra/319-tmdl-fund/content/nonpoint-source-pollution-education>). См. также раздел 1.4.

Обеспечение охраны водных объектов от диффузного загрязнения, соответствующее передовым мировым подходам и технологиям, требует в качестве одной из ключевых задач обеспечение экономики страны достаточным количеством высококвалифицированного персонала, способного решать поставленные цели. При этом большинство кадровых проблем в этом направлении имеет системные решения и требует скоординированных действий всех участников процесса, включая образовательные учреждения, промышленные предприятия и организации и органы исполнительной власти. В то же время Единый квалификационный справочник должностей руководителей, специалистов и служащих⁵⁵, применяемый в настоящий момент, не отражает требований к профессиям, связанным с охраной окружающей среды (в справочнике вообще отсутствуют профессии, связанные с охраной окружающей среды, только защита при ЧС). В связи с новыми задачами развития и оптимизации производства, появлением новой техники и технологий, моделей управления персоналом, квалификация, приобретенная работником ранее, должна быть приведена в соответствие с изменяющимися функциональными требованиями.

Приведенные ниже рекомендации направлены на:

- определение приоритетных направлений развития кадрового потенциала на долгосрочную перспективу и путей их реализации;
- обеспечение согласованности действий министерств и ведомств с бизнесом по ключевым направлениям кадрового обеспечения;
- разработку и внедрение системы прогнозирования кадровых потребностей;
- развитие систем подготовки кадров в соответствии с современными требованиями к квалификации персонала.

Объектом рекомендаций являются отношения между органами государственной власти и местного самоуправления, субъектами образовательной деятельности, инновационной инфраструктуры, предприятиями, научными и научно-техническими организациями, профессиональными объединениями в области подготовки кадров по организации и управлению охраной водных объектов и минимизации или полного предотвращения диффузного загрязнения, а также подготовки экологически ориентированных специалистов в различных областях производства.

Цель – обеспечение охраны водных объектов от диффузного загрязнения квалифицированным кадровым ресурсом, соответствующим современным и перспективным природоохранным тенденциям.

⁵⁵ Единый квалификационный справочник должностей руководителей, специалистов и служащих. Источник: Электронный правовой портал Консультант Плюс (http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_97378/).

Задачи:

- формирование системы прогнозирования кадровой потребности;
- развитие системы отраслевых профессиональных стандартов;
- развитие системы подготовки кадров;
- создание системы аккредитации образовательных программ и сертификации специалистов.

Для достижения указанных целей и задач следует выполнить в первоочередном порядке следующие взаимосвязанные мероприятия:

- организацию взаимодействия органов государственной власти, местного самоуправления, субъектов образовательной деятельности, предприятий, научных и научно-технических организаций в интересах кадрового обеспечения;
- разработку и последующее утверждение комплекта документов законодательного, правового и нормативно-методического обеспечения системы кадрового обеспечения;
- модернизацию содержания и структуры профессиональной переподготовки и повышения квалификации кадров по организации и управлению охраной водных объектов от диффузного загрязнения в соответствии с потребностями;
- формирование системы мониторинга и прогнозирования потребностей в подготовке, переподготовке и повышении квалификации кадров по организации и управлению охраной водных объектов от диффузного загрязнения;
- создание сети муниципальных учебно-консультационных центров, реализующих планы переподготовки и повышения квалификации кадров по организации и управлению охраной водных объектов от диффузного загрязнения;
- формирование условий для непрерывного профессионального роста профессорско-преподавательского состава, ведущего подготовку кадров по организации и управлению охраной водных объектов от диффузного загрязнения;
- формирование общественного мнения о необходимости подготовки кадров по организации и управлению охраной водных объектов от диффузного загрязнения, пропаганда успехов и опыта подготовки кадров по организации и управлению охраной водных объектов от диффузного загрязнения в средствах массовой информации.

Задача 1. Формирование системы прогнозирования кадровой потребности.

Для выполнения данной задачи необходимо реализовать мероприятия по следующим направлениям:

Направление 1.1. Организация работы по технологическому и квалификационному прогнозированию с использованием межотраслевых техноло-

гических прогнозов, стратегических планов развития территорий, а также международной экспертизы. В данной работе помимо природоохранных ведомств должны принимать участие предприятия и проектные организации, инжиниринговые, научные и образовательные учреждения. Таким образом, создаются условия для интеграции актуальных требований всех участников в образовательные программы.

Направление 1.2. Формирование стратегических и перспективных программ участников процесса кадрового обеспечения для обозначения наиболее вероятных с точки зрения экспертов направлений изменения квалификаций.

Направление 1.3. Организация работ по формированию механизма своевременного обеспечения кадрами природоохранных ведомств и смежных отраслей, а также разработка механизма занятости высвобождающихся инженерных кадров.

Пример 1

По данным канадского форсайт⁵⁶–исследования, к 2030 г. будут востребованы следующие экологические профессии.

Агроэколог. В его задачи будет входить взаимодействие с фермерами в целях проектирования и управления сельскохозяйственными экосистемами, части которых (растения, вода, почвы вместе с питательными веществами и насекомыми) работают вместе, чтобы создать эффективные и устойчивые средства сельскохозяйственного производства с одновременным поддержанием экологического баланса природных территорий.

Ревайлдер – специалист в области охраны и восстановления окружающей среды, сельского и лесного хозяйства. К его задачам относятся сокращение ущерба, наносимого/нанесенного людьми дикой природе, восстановление естественных ландшафтов и экологического баланса нарушенных природных объектов.

Экосистемный аудитор. Работа нацелена на оказание помощи правительственным организациям в вопросе воздействия муниципальных образований или общин на окружающую среду и состояние местных экосистем. Профессия предполагает глубокое знание локальных сообществ растительных и животных организмов, биогеоценозов, а также того, каким образом та или иная хозяйственная деятельность, например, развитие территорий и/или бизнеса, может повлиять на будущее состояние природных систем⁵⁷.

Пример 2

К аналогичным отечественным проработкам относится «Атлас новых профессий»⁵⁸ для различных отраслей хозяйства в перспективе до 2030 г.

⁵⁶ От англ. foresight – предвидение.

⁵⁷ Источник: <https://careers2030.cst.org/jobs/> – эл. ресурс (дата обращения 01.11.2019).

⁵⁸ Атлас новых профессий. – М.: АСИ; МШУ «Сколково», 2014. – 164 с.

Среди востребованных на ближайшую перспективу профессий следует выделить следующие.

Эколог-урбанист – проектировщик городов на основе экологических биотехнологий в области строительства, энергетики и контроля за загрязнением окружающей среды.

Системный горный инженер работает с объектами природопользования на полном жизненном цикле (от поисково-разведочных работ до закрытия и рекультивации месторождений) с учетом комплексности этих объектов.

Экоаналитик в добывающих отраслях – специалист по анализу экологических угроз, защите окружающей среды в процессе добычи, транспортировки и переработки полезных ископаемых и восстановления нарушенных территорий.

Рециклинг-технолог – специалист по разработке и внедрению технологий вторичного использования материалов, безотходного производства.

Парковый эколог. В задачи этого специалиста входит мониторинг и анализ экологического состояния общественных пространств (парков, скверов, площадей, аллей и др.), разработка и внедрение решений по озеленению, заселению зверями, птицами, насекомыми и иных мер по поддержанию экологического баланса на зеленой территории внутри города.

Экоаудитор выполняет аудит производственных предприятий и дает рекомендации по снижению воздействия на окружающую среду за счет модернизации производства, изменения практик и способов работы.

Специалист по преодолению системных экологических катастроф – инженер, работающий с катастрофами, растянутыми во времени, которые осознаются постепенно (например, загрязнение территорий вокруг крупных промышленных центров, тающая вечная мерзлота, радиационные свалки и другие объекты накопленного вреда и т.п.).

Специалист по связям с общественностью в экологической сфере поддерживает инициативные общественные группы, работающие на улучшение экологической обстановки, координирует взаимодействие обмен информацией между ними и государственными организациями разных уровней, помогает осуществлять общественный экологический контроль.

Методист-педагог по устойчивому развитию разрабатывает и проводит образовательные и просветительские программы для детей и взрослых по вопросам «зеленого» образа жизни, связанного со снижением нагрузки на окружающую среду (умеренное потребление, сокращение «экологического следа», отдельный сбор мусора и др.), а также программы для предприятий по экологичным технологиям производства.

Как видно из приведенных примеров, в целом во многих областях хозяйственной деятельности предсказывается востребованность кадров, занимающихся вопросами устойчивого развития, в том числе: снижением вредных выбросов, переработкой и утилизацией отходов, внедрением материалов и технических решений, наносящих меньший вред природе, рациональным использованием ресурсов, переориентированием производственных прак-

тик и образа жизни людей в сторону большей экологичности (прямой механизм снижения диффузного загрязнения), а также восстановлением нарушенных экосистем и их мониторингом.

Задача 2. Развитие системы профессиональных стандартов.

Для формирования законченной системы профессиональных стандартов необходимо реализовать мероприятия по следующим направлениям:

Направление 2.1. Модернизация (корректировка) профессиональных стандартов в соответствии современными подходами, наилучшими доступными технологиями «зеленой» инфраструктуры и особенностями диффузного загрязнения водных объектов. С учетом принципа «опережающего характера» необходима постоянная актуализация профессиональных стандартов в соответствии с современным развитием уровня науки и техники, а также внедрение в профессиональные стандарты смежных профессий принципа предотвращения или минимизации загрязнения на этапах проектирования.

Направление 2.2. Разработка механизма обновления профессиональных стандартов на основе технологического и квалификационного прогнозирования (*направление 1.1*) и практики применения профессиональных стандартов.

Направление 2.3. Формирование системы признания качества разрабатываемых профессиональных стандартов и подготовку предложений по внесению изменений в квалификационный справочник должностей руководителей, специалистов и других служащих.

Задача 3. Развитие системы подготовки кадров в области охраны водных объектов от диффузного загрязнения.

С целью развития системы подготовки кадров важно усилить интеграции и скоординированности действий системы образования и системы обеспечения природоохранной деятельности. Для этого необходимо реализовать мероприятия по следующим направлениям:

Направление 3.1. Обеспечение синхронности требований профессиональных стандартов с требованиями к содержанию образовательных программ по соответствующим направлениям подготовки, что обеспечивается созданием условий для тесного взаимодействия учебно-методических объединений с советами по профессиональным квалификациям. Кроме того, необходим учет как национальных, так и корпоративных профессиональных стандартов.

Формирование совета/советов по профессиональным квалификациям в области «Экология и охрана окружающей среды» (соответствующие комментарии см. выше). Для уточнения перечня направлений образования и корректировки федеральных государственных образовательных стандартов по высшему образованию необходимо осуществлять взаимодействие с профильными учебно-методическими объединениями и учебными заведениями. Для уточнения содержания программ среднего профессионального

образования – с соответствующими органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации.

Направление 3.2. Разработка механизма мониторинга образовательных учреждений в целях выявления и поддержки центров компетенций по отдельным направлениям подготовки специалистов.

Направление 3.3. Разработка новых и модернизация (корректировка) существующих образовательных программ, в том числе международных, соответствующих лучшим мировым практикам, с использованием инновационных методических и методологических подходов к обучению. Данную работу ведут образовательные учреждения, которые могут выполнять ее совместно с подразделениями предприятий и проектных организаций, отвечающих за развитие персонала. Также необходимо синхронизировать обновление учебной материально-технической базы, квалификации ППС и методического обеспечения образовательного процесса с изменениями в требованиях к квалификации выпускников в разработанных профстандарте.

Направление 3.4. Расширение практики стажировок специалистов, профессорско-преподавательского состава и студентов учебных заведений в ведущих учебных центрах и на предприятиях и организациях мировых лидеров, в том числе за рубежом, а также стажировок иностранных студентов и специалистов в России.

Направление 3.5. Развитие системы грантовой и стипендиальной поддержки студентов и аспирантов на обучение в лучших научных и образовательных центрах, в том числе за рубежом, с акцентом на устойчивое развитие, сохранение окружающей среды, «зеленые» технологии и проблемы диффузного загрязнения. В рамках реализации данного направления целесообразно использовать и развивать существующие стипендиальные программы: федеральные, региональные, корпоративные.

Анализ распределения грантов по итогам основной части пятилетней программы «Глобальное образование» (2014–2019 гг.), нацеленной на поддержку граждан Российской Федерации, самостоятельно поступивших в ведущие иностранные образовательные организации, дает основание сделать вывод, что выбор экологической направленности образования не является приоритетом (рис. 3.10). В качестве иллюстрации представлены наи-



Рис. 3.10. Анализ распределения грантов по итогам основной части пятилетней программы «Глобальное образование» (2014-2019 гг.)

более популярные специальности, которые выбирали участники Программы в зарубежных университетах за рассматриваемый период⁵⁹.

Направление 3.6. Повышение уровня подготовки инженерно-конструкторских кадров, реализующих инновационные проекты, с учетом необходимости развития инжиниринговых центров для минимизации диффузного загрязнения на этапах проектирования.

Направление 3.7. Разработка системы дополнительного образования (профессиональной переподготовки, повышения квалификации) персонала природоохранных ведомств, а также предприятий и проектных организаций.

Направление 3.8. Развитие механизмов влияния работодателей на деятельность образовательных учреждений, включая работу в попечительских и наблюдательных советах, общественно-профессиональную аккредитацию образовательных программ, целевые программы обучения, вхождение в ученый совет и т.д. Так, например, распространяется практика сотрудничества крупных компаний и отдельных факультетов (кафедр) по привлечению дополнительного финансирования, поставок более современного и актуального оборудования, обеспечению стабильного поступления новых квалифицированных кадров для развития в долгосрочной перспективе. Активно работает механизм профессионально-общественной аккредитации образовательных программ, предусмотренный ст.96 ФЗ «Об образовании в Российской Федерации»⁶⁰.

Механизм привлечения внешней экспертизы (как национальной, так и международной) активно используется в проекте повышения мировой конкурентоспособности ведущих российских университетов «5–100»⁶¹, который задает направление на «развитие взаимодействия между университетами, промышленностью и бизнесом».

При реализации вышеописанных мероприятий необходимо учитывать целый ряд государственных инициатив в области развития системы образования. Также необходимо дополнительно изучить возможность и необходимость:

- создания системы взаимодействия образовательных учреждений (альянсов, ассоциаций), осуществляющих подготовку кадров в сфере природоохранной деятельности;
- создания единого информационного пространства для обеспечения подготовки кадров;
- разработки методики перевода профессиональных стандартов в федеральные государственные образовательные стандарты;

⁵⁹ Источник: Электронный портал Государственной программы «Глобальное образование» (fileadmin / downloads/ GO_2018.pdf).

⁶⁰ Федеральный закон от 29.12.2012 № 273–ФЗ (ред. от 26.07.2019) «Об образовании в Российской Федерации». Источник: электронный правовой портал Консультант Плюс (http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174/89df20a2a183c0a9662f34b1321f6bc7e7074cc6/).

⁶¹ См. официальный электронный портал проекта <https://www.5top100.ru/about/more-about/>.

- разработки механизмов стимулирования деятельности природоохран-ных ведомств, а также предприятий и проектных организаций по подготовке кадров и разработке образовательных программ.

Задача 4. Создание системы аккредитации образовательных программ и сертификации специалистов отдельных категорий.

В целях распространения разработанных требований к квалификации на систему образования и повышения качества кадров на рынке труда необходимо реализовать мероприятия по следующим направлениям:

Направление 4.1. Разработка и апробация механизма аккредитации образовательных программ работодателями, в том числе общественная аккредитация. Данный механизм будет призван обеспечить совершенствование систем управления качеством обучения в образовательных учреждениях. Реализация направления должна подразумевать обеспечение независимости (объективности) при использовании механизма влияния работодателей на содержание образовательных программ в соответствии с профессиональными стандартами (сложившаяся практика номинального и формального участия работодателей в научно-методических советах в вузах не дает эффективной реализации механизма). Таким путем работодатель сможет закладывать в процесс обучения знания, умения и навыки, которые будут необходимы и востребованы на рынке труда после выпуска специалистов.

Направление 4.2. Участие в разработке и апробации системы сертификации специалистов и выпускников учебных заведений на соответствие требованиям профстандартов. Одним из ключевых требований к системам аккредитации и сертификации может стать их признание на международном уровне. В качестве примера можно привести механизм проведения аккредитации с присвоением Европейского знака качества EUR-ACE®⁶² образовательных программ (в области охраны окружающей среды), который применен при аккредитации программы «Геоэкология» (Национальный исследовательский Томский политехнический университет), «Экологическая безопасность» (Иркутский национальный исследовательский технический университет), «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов» (Тюменский государственный нефтегазовый университет), «Защита окружающей среды (Уфимский государственный авиационный технический университет)» и др.

Важным условием успешной реализации мероприятий данного направления является разработка механизма признания аккредитации и сертификатов со стороны работодателей. В настоящее время практика общественной аккредитации является базовым фундаментом работы такого механизма, но требует развития и системности, поскольку в частных случаях появляются механизмы внутренней аттестации, признания в различных крупных корпорациях.

⁶² См., например, Руководство по проектированию магистерских программ в соответствии с европейскими стандартами EQF и EUR-ACE / под. ред. О.В. Боева, Н. Грюнвальда и Г. Хайтмана. Версия 2.0. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013.

3.4 ОРГАНИЗАЦИЯ И ПЛАНИРОВАНИЕ ВОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЦЕЛЯХ СНИЖЕНИЯ ДИФFUЗНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Для эффективного снижения потоков ЗВ от разнообразных источников диффузной природы, расположенных в пределах речного бассейна, наряду с принятием мер правового регулирования хозяйственной деятельности и внедрением экологически ориентированных практик природопользования и технологических процессов, необходимо направлять усилия на поддержание барьерных функций природных ландшафтов, создание условий для улучшения самоочищающей способности водных объектов и околородных экосистем, включая восстановление и/или сохранение таких элементов речного бассейна, как водно-болотные массивы в истоках рек, пойменные участки с естественной растительностью, облесенные балки и ложбины, места выхода ключей и родниковых вод и проч. ЗВ от диффузных источников поступают в основном с поверхностным и почвенно-грунтовым стоком с обширной территории водосбора, поэтому перехват данных потоков в полной мере может быть обеспечен только естественными или близкими к естественным биогеохимическими барьерами достаточной протяженности (непрерывности). При этом их емкость, структура, взаимное расположение и разнообразие входящих в них компонентов должны способствовать прохождению процессов самоочищения воды по мере ее продвижения, начиная от источника загрязнения и далее – до водного объекта, а также непосредственно в самом водном объекте.

В условиях диффузного загрязнения особенно выражено усложнение взаимосвязей в пределах речных бассейнов, которые следует рассматривать как природно-антропогенные системы. В связи с этим часто невозможно достичь снижения диффузного загрязнения простыми способами, и требуется реализация подхода, основанного на принципе мультибарьерности, который подразумевает одновременную реализацию нескольких взаимодополняющих направлений водоохранной политики, раскрытых ниже:

- создание и/или восстановление экологического каркаса (ЭК) территории и обязательное закрепление правового статуса его элементов на законодательном уровне;
- восстановление (экологическая реабилитация) и поддержание естественных экосистем рек, их русловых и пойменных участков;
- выбор и осуществление специализированных водоохраных мероприятий (включая инженерные методы) и практик ведения хозяйственной деятельности в зависимости от вида землепользования и факторов воздействия (урбанизированные и селитебные территории, с/х поля, пастбища и животноводческие фермы, промышленные площадки и проч.).

3.4.1 Экологический каркас речного водосбора

Экологический каркас водосбора (ЭКВ) – это взаимосвязанная пространственно-организованная структура гидрографической сети водосбора и всех сохранившихся внутри него участков естественных ландшафтов, урочищ, водно-болотных угодий и других объектов с различными режимами природопользования, выполняющих основные средообразующие и средозащитные функции. При разработке ЭКВ необходимо формировать единый бассейновый план развития. Смысл создания (реконструкции) ЭКВ состоит в максимально эффективном обеспечении экологической стабильности на всей территории путем поддержания гибкой системы рационального природопользования.

Экологическое состояние водного объекта прямо зависит от уровня экологического благополучия/неблагополучия водосборной территории. Реконструкция ЭКВ на территориях, оказывающих ЗВ на водные объекты, является одним из современных направлений формирования экологически эффективной политики хозяйствования и должна рассматриваться как составляющая часть стратегии снижения диффузного загрязнения в пределах речных бассейнов. Внедрение природно-ландшафтного, в том числе бассейнового, принципа управления природными комплексами включено в число основных задач государственной политики РФ в области экологии.

Разрабатываемая в настоящее время различными исследователями и научными коллективами концепция экологического каркаса как эффективного инструмента создания полноценной сети сохраняемых природных комплексов является наиболее востребованной и актуальной при территориальном планировании [Кулешова, 1999; Воропаева, 2010; Мирзеханова, 1998; Нарбут, 2008; Панченко, Дюкарев, 2010; Курбатова, 2015].

Большое количество разработок посвящено созданию ЭКТ в границах административных территорий – Алтайского края, Республики Крым, Орловской, Брянской, Калужской, Псковской, Волгоградской и ряда других областей, муниципальных районов и крупнейших городов [Стоящева, 2007; Прыгунова, 2005], а также созданы разработки экологического каркаса физико-географических регионов, междуречий и речных бассейнов [Стоящева, 2007; Елизаров, 1998; Панченко, Дюкарев, 2010; Коновалов, 2008].

Структура ЭКВ любого иерархического уровня представляет собой пространственное распределение площадных (в виде ядер и узлов) и линейных (экологических коридоров) элементов, которые в границах конкретного водосбора поддерживают экологическую стабильность территории, предотвращают сокращение биоразнообразия и деградацию ландшафтов, способствуя тем самым сохранению и улучшению качества природных вод. Каждый элемент ЭКВ обладает определенными функциями. Важная средо-

формирующая роль принадлежит рельефу, его положительным и отрицательным формам, растительности, водным и водно-болотным объектам, экологическая значимость которых зависит от размера речного бассейна, его строения и иерархии в изучаемой системе.

Экологический каркас водосбора формируется из следующих элементов.

1. Ядра.

Основные объекты: особо охраняемые природные территории (ООПТ), включая заповедники, заказники, национальные парки, а также не входящие в ООПТ лесные массивы, дельтовые области, крупные водоемы, системы озер, водно-болотные угодья и др.

Основные функции: средообразующие, водорегулирующие, водоаккумулирующие, а также функции охраны и воспроизводства биоресурсов и поддержания биоразнообразия, сохранение эталонных природных комплексов в неизменном виде, поддержание ландшафтного биоразнообразия.

2. Ключевые территории (экологические коридоры).

Основные объекты: речная сеть, долины рек, старицы, водораздельные леса, овражно-балочные, пойменные и террасные полосы зональной растительности, лесополосы различного назначения.

Основные функции: выполнение транспортных функций, обеспечение стабильности природной среды за счет сохранения естественных связей основных звеньев геосистем на всем пространстве, поддержание целостности каркаса за счет соединения разрозненных ядер, обеспечение беспрепятственного перемещения подвижных компонентов среды.

3. Буферные территории.

Для поддержания основных элементов природно-экологического каркаса ядер, ключевых территорий и экологических коридоров в оптимальном функциональном состоянии они окружаются системой буферных зон, представляющих собой мелкие леса, луга и другие природные территории. Именно буферные территории и экологические коридоры непосредственно примыкают к застроенным территориям и воспринимают на себя наиболее значительную антропогенную нагрузку.

Основные объекты: буферные зоны заповедников, заказников, лесов, водоохранные и санитарно-защитные зоны водохранилищ, рек и их истоков, зеленые зоны населенных пунктов (сады, парки).

Основные функции: выполнение средозащитной роли, уменьшение остроты антропогенного воздействия за счет ограничения хозяйственной деятельности.

4. Сетевые узлы.

Основные объекты: пересечения рек, речных долин с лесополосами, колками леса, заболоченными понижениями и др.

Основные функции: локальные средоформирующие функции, включая образование мини-ядер разной степени сохранности, перспективных для восстановления опорных узлов сети каркаса.

5. Локальные (очаговые) формы.

Основные объекты: памятники природы, фрагментарные участки леса, небольшие озера и пруды, луга, сенокосы, небольшие ложбины, балки и др.

Основные функции: местные очаги ненарушенной (слабонарушенной) природы, перспективные при реконструкции сети каркаса.

При разработке проекта ЭКВ необходимо учитывать следующие факторы:

- ландшафтно-гидрологические особенности водосбора;
- характер и уровень антропогенной нагрузки (демографическая, промышленная, сельскохозяйственная);
- выраженный дефицит средообразующих или средозащитных функций.

В средней полосе Европейской части РФ целесообразны лесовосстановительные мероприятия. Для степной зоны, где древесная растительность практически отсутствует, недостающие элементы каркаса следует планировать в виде восстановленных локальных узлов, коридоров и буферных зон, заросших травянистой растительностью. Элементы экологического каркаса защитных лесополос на сельскохозяйственных землях и землях транспорта не только защищают поля и дороги от ветров и способствуют снегонакоплению, но и уменьшают водно-эрозионные процессы, играя роль естественных фильтров и препятствуя заилению и загрязнению рек. Облесение или залужение пойменных участков рек выполняет защитную функцию, предохраняя берега от разрушения и снижая поступление ЗВ диффузной природы.

В настоящее время не существует единой системы управления, наблюдения и контроля за элементами сети экологического каркаса водосборной территории. В связи с этим одной из первостепенных задач является разработка структуры комплексного мониторинга ЭКВ, включающего анализ карт, космических снимков, а также привлечение материалов аэрофотосъемки для повышения информативности и детальности изображений подстилающей поверхности. Полученные данные обобщаются с использованием возможностей ГИС-технологий.

Барьерная роль экологического каркаса зависит от состояния и функционирования его структурных элементов. Для водосборов с интенсивной многолетней хозяйственной деятельностью характерна высокая степень деградации природных ландшафтов. Реконструкция ЭКВ направлена на укрепление экологической сети, а следовательно, и на улучшение состояния водосбора и качества поверхностных вод за счет формирования естественных барьеров для диффузных загрязнений, поступающих в почвы и поверхностные воды от разных источников (*рис. 3.11*⁶³).

⁶³ <http://kamskoye-ustye.tatarstan.ru/rus/shema-territorialnogo-planirovaniya-kamsko.htm?page=2>



Рис. 3.11. Карта природно-экологического каркаса (Камско-Устьинский муниципальный район республики Татарстан). Пример территориального планирования территории на берегу Куйбышевского водохранилища

Предлагается следующая последовательность выполнения комплекса работ по созданию экологического каркаса в пределах речного бассейна.

I этап. Выявление существующих элементов и мониторинг ЭКВ:

- выявление основных элементов ЭК различных иерархических уровней (для всего главного бассейна и отдельно его частных водосборов) на основе картографической и спутниковой информации, данных аэрофотосъемки;
- сбор и обобщение информации о фактическом состоянии основных элементов ЭК;
- инвентаризация элементов ЭК, анализ и представление их в картографическом виде на основе ГИС-технологий и создание базы данных.

II этап. Подготовка проекта реконструкции ЭКВ, включая разработку рекомендаций по укреплению сети ЭКВ в зависимости от ландшафтных условий и видов антропогенной нарушенности:

- установление мест разрывов сети ЭКВ, оценка ее фрагментарности как показателя неустойчивости системы;
- выявление территорий, пригодных к экологической реставрации для воссоздания целостной инфраструктуры ЭКВ;
- классификация природных и антропогенных объектов по степени сложности рекультивации;
- определение оптимальных мест для создания дополнительных элементов экологического каркаса;
- выбор вариантов соединения разрозненных изолированных элементов ЭКВ;
- определение предполагаемых изменений площадей элементов ЭКВ и рекультивируемых земель после реконструкции;
- оценка снижения диффузного загрязнения вод (?), поступающего с водосбора в водоем после реализации проекта реконструкции ЭКВ.

III этап. Реализация проекта реконструкции с обязательным мониторингом состояния восстановленных элементов.

Разработка проекта восстановления экологического каркаса водосбора рекомендуется к использованию в программах по улучшению экологического состояния как самой территории, так и элементов гидрографической сети. Проект может включать расширение (восстановление) площадей природоохранных территорий, охранных и буферных зон, формирование зеленых зон вокруг населенных пунктов, рек и водохранилищ, проведение работ по восстановлению лесов и насаждению новых защитных лесополос вдоль пашен и транспортных сетей, облесение и залужение прибрежных защитных полос, рекультивацию «бедлендов», заброшенных пашен, выбитых пастбищ. Все эти мероприятия положительно скажутся на качестве водных объектов, повысят их способность к самоочищению и снижению диффузного загрязнения.

3.4.2 Восстановление рек

В настоящее время в практике эксплуатации речной сети, при освоении приречных территорий и проведения водоохраных работ на водных объектах Волжского бассейна продолжают преобладать такие инженерно-технические приемы, как расчистка и спрямление русел, дноуглубление и выемка донных отложений, свodka водно-болотной растительности, подсыпка берегов, бетонирование склонов или их укрепление искусственными подпорными стенками и/или габионами.

Такой подход, как правило, направлен на достижение узкоспециальных целей и позволяет относительно быстро достичь внешнего (и часто временного) эффекта благополучия участка речного русла. Однако в результате такого рода мероприятий в пределах реконструированного сегмента реки резко снижается и долго не восстанавливается биоразнообразие, на-



Рис. 3.12. Работы по дноуглублению малой реки в Московской области

рушаются условия саморегуляции экосистемы речной сети, снижаются ее защитные свойства по отношению к внешним потокам ЗВ, поступающих с водосбора (рис. 3.12⁶⁴).

Передовой опыт развитых стран в области решения задач управления речными бассейнами и смягчения гидроэкологических проблем в их пределах развивается в направлении восстановления и экологической реабилитации рек или их отдельных наиболее деградировавших участков⁶⁵. Отличительной особенностью европейского опыта является мониторинг эффективности выполненных работ в течение нескольких лет после завершения проекта.

⁶⁴ <https://mep.mosreg.ru/deyatelnost/ekoreabilitaciya-rek>.

⁶⁵ Конкретные методы реабилитации, инженерные приемы и сравнительные результаты опыта проведения таких работ приведены в ряде информационных источников. См., например: Информационный портал Европейского центра по восстановлению рек (ECRR). – Электронный ресурс: <http://www.ecrr.org/Home/tabid/2535/Default.aspx>.

Practical River Restoration Appraisal Guidance for Monitoring Options (PRAGMO). Guidance document on suitable monitoring for river and floodplain restoration projects. River Restoration Centre (RRC), Cranfield University, Cranfield, United Kingdom. 2011. – Электронный ресурс: <http://www.therrc.co.uk/monitoring-guidance>.

River restoration in Europe: the art of the possible. RESTORE Layman's Report: LIFE09/INF/UK000032. 2013. – Электронный ресурс: <http://www.ecrr.org/Publications/tabid/2624/mod/11083/articleType/ArticleView/articleId/3559/Default.aspx>.

В нашей стране это направление пока только зарождается и не получило еще должного осмысления и распространения⁶⁶. Причины этого кроются в относительно большой стоимости выполнения работ, неразвитости организационно-правовой и терминологической базы, недостатке квалифицированного инженерно-технического персонала и научно-методического сопровождения⁶⁷.

Экологическая реабилитация рек подразумевает воссоздание естественных (близких к естественным) условий течения реки (переход от спрямленных участков к контролируемому меандрированию), создание речных заводей, стабилизацию берегов, подверженных эрозии, улучшение условий аэрации речной воды и прохода рыбы, посадку и культивирование высшей водной растительности на отдельных участках русла и создание биоплато на русловых прудах, восстановление естественных пойменных лугов и кустарниковой растительности по берегам рек и целый ряд других экологических практик и управленческих решений в речном бассейне (и ли его части). При этом расчистка русла и изъятие донных отложений (при наличии в них веществ, ухудшающих качество речной воды) могут рассматриваться в качестве дополнительных, но не основных восстановительных мероприятий (рис.3.13).

Правильная разработка и реализация проектов восстановления рек, основанная на проблемно-ориентированном подходе и четких целях, позволяет:

- наиболее естественным образом включить реки и околоречные пространства в общий экологический каркас территории, повысив тем самым устойчивость функционирования водохозяйственного комплекса в бассейне р. Волги;
- создать (восстановить) дополнительный эффективный барьер на пути миграции веществ диффузной природы и улучшить самоочищающую способность как самих водных объектов, так и экосистем в пределах их водоохранных зон;
- ликвидировать факторы накопленного экологического ущерба и снизить риски их повторного возникновения;
- наиболее наглядным образом привлечь внимание общественности на местном и/или региональном уровне к проблеме диффузного загрязнения и путям ее решения.

⁶⁶ Одним из немногих примеров реализации подобных проектов в бассейне р. Волги может служить программа экореабилитации малых рек Московской области, стартовавшая в 2016 году в рамках ФЦП «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012–2020 годах». В программу реабилитации вошли несколько рек: Пехорка, Малашка, Яуза, Банька и др. Источник информации: электронный портал Министерства экологии и природопользования Московской области. – Электронный ресурс: <https://mer.mosreg.ru/deyatelnost/ekoreabilitaciya-tek>. Важно подчеркнуть, что оценить экологический эффект указанной программы еще только предстоит.

⁶⁷ Единственным на сегодняшний день правовым документом, регулирующим данный вопрос, является Порядок проведения конкурсного отбора государственных программ (подпрограмм государственных программ) субъектов РФ в области использования и охраны водных объектов), утв. приказом Минприроды России от 24.02.2016 № 53.

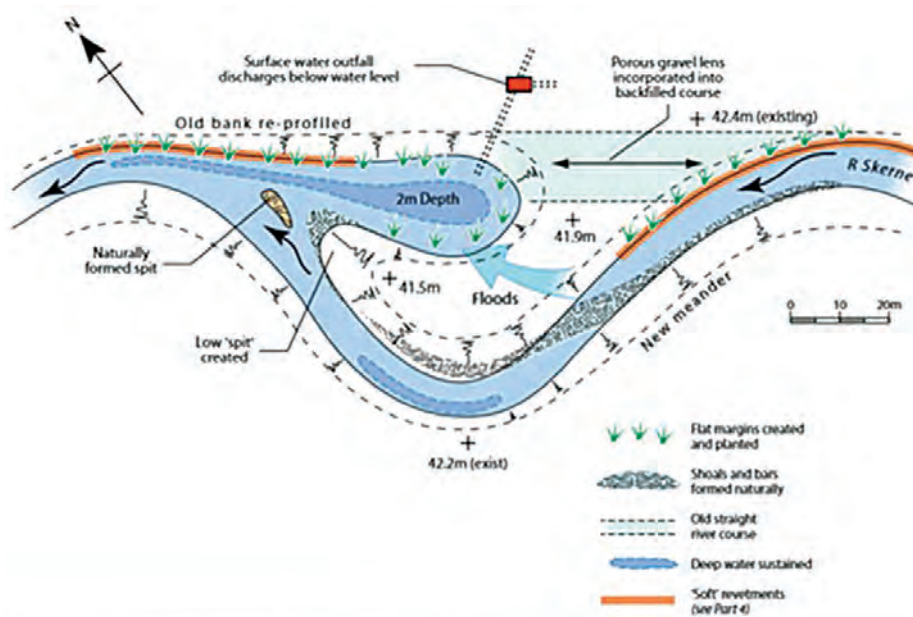


Рис. 3.13. Пример экологической реабилитации участка р. Скерн (Великобритания)

3.4.3 Факторы негативного воздействия и общие рекомендации по снижению поступления загрязняющих веществ от диффузных источников

3.4.3.1 Сельское хозяйство и животноводческие предприятия

Сельскохозяйственное производство требует больших площадей и поэтому является масштабным источником загрязнения водных объектов. Воздействие сельского хозяйства на природную среду, а через нее и на водные объекты, осуществляется через многообразные производственные процессы, каждый из которых имеет свою специфику и тесно связан с местными и региональными особенностями земледелия и животноводства (более подробно см. раздел 1.1).

В бассейне р. Волги в среднем и нижнем ее течении доля земель сельскохозяйственного назначения составляет не менее 40%, а во многих субъектах РФ – более 60% от общей площади земельного фонда.

Основными ЗВ, поступающими от этого вида хозяйственной деятельности, являются: азот-, фосфор- и калийсодержащие вещества, органические вещества (по ХПК), пестициды, взвеси, патогенные микроорганизмы и в отдельных случаях – тяжелые металлы. Азот и фосфор относятся к т.н. биогенным элементам, способствующим цветению воды в теплый период года и ускорению эвтрофирования водохранилищ. Развитие и последующее разложение биомассы микроводорослей приводит к выделению в воду токсинов, появлению устойчивых специфических запахов, снижает насыщение воды растворенным кислородом вплоть до образования обширных зон аноксии, что является причиной заморов рыбы. Ухудшение органолептических свойств воды требует значительных дополнительных затрат на водоподготовку в случае, если водный объект используется как источник хозяйственно-питьевого водоснабжения, а также ограничивает возможности использования водных объектов в целях рекреации и рыбной ловли, снижает потенциал развития туристического бизнеса в регионах.

Ниже перечислены основные факторы, которые формируют загрязнения диффузной природы и оказывают негативное влияние на качество воды рек и водохранилищ в пределах Волжского бассейна. На их устранение должно быть направлено первоочередное внимание.

1. Нарушение агротехнологии утилизации отходов производства (навоза, помета и др.), включая неправильное хранение, потери при транспортировке, выбор ненадлежащих мест складирования.

Отсутствие постоянно действующей системы ведомственного и внешнего контроля за процессом утилизации органики, а также планирования сопутствующих основному виду деятельности водоохранных мероприятий и логистических операций приводит к тому, что:

- места складирования отходов размещаются в непосредственной близости от элементов гидрографической сети, включая прибрежные участки рек, а также ложбины и балки, вдоль которых формируется сток талых и дождевых вод;
- навоз и помет размещается открытым способом на полях, причем часто это происходит практически без заделки в почву, и/или такая заделка осуществляется не сразу, а через значительный промежуток времени, что увеличивает риски вымывания загрязнений во время дождей; зачастую вывоз и складирование отходов происходит прямо на снежный покров, что в период таяния снега приводит к загрязнению воды;
- нередки случаи переполнения навозохранилищ и буртовых площадок, вместе с тем в их пределах также происходит накопление дождевых и талых вод, что существенно увеличивает риски размыва обваловочных буртов и последующей утечки водно-навозной жижи на рельеф и далее – в ближайший водоток.

2. Внесение органических и минеральных удобрений, а также пестицидов в неурочное время и/или в избыточном для растений количестве в сочетании с наличием мелиоративных систем и высокой подверженностью отдельных участков водосборных территорий процессам почвенной эрозии; складирование удобрений открытым способом на территории полей или сельскохозяйственных предприятий, потери удобрений на стадии «отгрузка-внесение».

Азотные соединения (особенно нитратная форма азота), внесенные в почву, обладают высокой подвижностью и поэтому активно вымываются из верхних почвенных горизонтов с талыми и дождевыми водами. То же самое относится и к калию, входящему в состав минеральных удобрений. Данный элемент вымывается из пахотного слоя, особенно интенсивно на легких почвах. Фосфор обладает меньшей подвижностью и лучше связывается с почвой, его вынос в водные объекты осуществляется в основном благодаря почвенной эрозии. Объем загрязнений в этом случае будет пропорционален величине смыва.

В настоящее время, однако, аналитический контроль за содержанием загрязнений, выносимых с полей в составе взвешенных веществ, не проводится, как не проводится и мониторинг состава взвешенных веществ в реках.

Плохо развита система мониторинга и предупреждения развития эрозии почв на пахотных землях.

Наблюдается неразвитость системы сбора и порядка предоставления информации по количеству, срокам и составу вносимых удобрений и использования пестицидов. Данный тип информации на сегодняшний день можно считать условно закрытым для анализа. Между тем доступность такой информации является одним из ключевых моментов понимания реальной картины формирования и миграции ЗВ на сельскохозяйственных водосборах.

3. Неправильная организация кормления животных и выбор мест их выпаса, устройство водопоя непосредственно из водного объекта; чрезмерная эксплуата-

ция пастбищ (перевыпас скота), ведущая к деградации растительности, нарушению почвенного покрова, фекальному загрязнению и эрозионным процессам.

Негативное воздействие перечисленных в этом пункте факторов наиболее значимо проявляется на локальных участках средних рек, на малых реках, ручьях, водосборах небольших озер и прудов местного значения. Для крупных водосборов их влияние может сглаживаться.

4. Вспашка полей до уреза воды, отсутствие (недостаток протяженности, невыполнение условий непрерывности) буферных зон (полос) с нетронутым травостоем и древесно-кустарниковой растительностью на полях, примыкающих к водным объектам, неправильное направление распашки склонов и проч.

Приведенный в данном пункте блок факторов, ведущих к диффузному загрязнению природных вод, является в том числе следствием:

- недостатка разработанных и утвержденных в нашей стране экологически ориентированных практик и стандартов ведения хозяйственной деятельности;
- слабой мотивации сельхозпроизводителей и фермерских хозяйств к изменению традиционных технологий производства и внедрению новых методов обработки земли, а также выполнению дополнительных водоохраных мероприятий;
- отсутствия соответствующих технических средств и/или экономических возможностей для их использования.

Для решения проблемы негативного влияния источников диффузного загрязнения, формирующихся в области сельского хозяйства, перечисленным в данном пункте вопросам должно быть уделено отдельное внимание.

Мероприятия и рекомендации.

1. Необходимо проводить систематический контроль за утилизацией животноводческими, птицеводческими предприятиями и частными фермерскими хозяйствами навоза, помета и других отходов производства. Такой контроль эффективно проводить прежде всего в осенний период до установления снежного покрова путем проведения комиссионных проверок в составе надзорных и контролирующих органов, а также местных комитетов по экологии. Должна проверяться вся схема утилизации отходов, включая очистку зданий, в которых содержатся животные, погрузочно-разгрузочные работы, транспортировку и складирование. Особый контроль должен быть направлен на выбор мест складирования отходов, заполненность буртовых площадок и состояние обваловок на предмет возможности их размыва в многоводный период. Целесообразно проводить профилактические консультации и разрабатывать совместно с землепользователями ежегодные планы (схемы) утилизации и вывоза отходов, исключив их вывоз на поля без запашки, складирование на снежный покров, размещение вблизи рек, ручьев, на участках с уклоном в сторону водотока, оврагах и балках

и оценив другие возможные риски поступления ЗВ с талыми и дождевыми водами, а также прямого доступа животных к водным объектам.

Кроме того, целесообразно поощрять внедрение передовых технологий переработки навоза и других органических отходов (например, производство биотоплива), а также рассмотреть возможность перераспределения избытков органики из районов, специализирующихся преимущественно на животноводстве, в районы растениеводства, т.е. туда, где эти избытки могут быть востребованы и использованы в качестве удобрений.

2. В целях сокращения выноса биогенных элементов с поверхностным стоком с сельскохозяйственных полей следует направлять усилия на предотвращение эрозионных процессов и размыва почвенного покрова. Для этого необходимо выполнять систематический мониторинг угодий (см. раздел 3.2.1). Целесообразно заранее выделить участки, имеющие наибольшие уклоны поверхности земли. Следует периодически выполнять анализ почв на предмет содержания в них биогенных элементов в количествах, превышающих потребности растений. В результате наложения карт избытков биогенов в почвах и карт уклонов земной поверхности в пределах водосбора можно выделить участки наибольшего риска, которым следует уделять внимание в первую очередь. Следует также ориентироваться и на другие методы оценки эродированности почв, используемые в практике сельского хозяйства⁶⁸.

Предотвращению эрозии и выносу биогенных элементов с полей способствует внедрение известных, но часто игнорируемых в действительности водоохраных мероприятий и практик землепользования, например: выполнение специальных агротехнических приемов обработки почвы с учетом уклонов поверхности земли (создание водоудерживающих валов на эродированных склонах, применение специальных видов вспашки, водоудерживающие валики для задержания талых вод на склонах с зяблевой вспашкой, поперечная и поперечно-гребнистая вспашка, минимальная безотвальная обработка почвы с осени с обязательным ее мульчированием растительными остатками), создание кулис из высокостебельных растений, восстановление и культивация защитных лесополос и кустарниковой растительности по границам полей, оврагов и балок, которые должны быть интегрированы в общий экологический каркас территории (см. выше), поддержание буферных полос с естественной растительностью вдоль постоянных и временных водотоков.

Для сокращения выноса загрязнений с орошаемых земель необходимо более тщательное обоснование поливных норм и выбора режима орошения культур, технологий орошения и техники полива (внедрение капельного орошения, низконапорных систем дождевания и др.), нацеленных на сокращение непродуктивных потерь воды за счет инфильтрационного питания грунтовых вод, но при этом не снижающих эффективность орошения.

⁶⁸ См., например, Методические указания по определению опасного уровня водной и ветровой эрозии, ФГБНУ «РосНИИПМ», 2015.

Особенно внимательно следует подходить к хозяйственной деятельности в пределах речных пойм как к участкам бассейна, в пределах которых распашка земель, внесение удобрений, выпас скота, мелиоративные и другие работы могут оказаться наиболее опасными факторами диффузного загрязнения природных вод.

3. Обеспечение постоянного контроля за работами, связанными с применением удобрений, препаратов по защите растений и химических мелиорантов, включая следующий неисключительный перечень требований:

- соблюдение правил транспортировки, погрузочных работ, хранения и использования;
- внесение минеральных удобрений строго в рекомендуемых количествах для конкретных культур севооборота, непосредственно под запашку почвы, как правило, азотных удобрений в весенний период, лучше в гранулированном виде (не допускается внесение удобрений вразброс без заделки в почвенный слой);
- внесение органических удобрений только в виде специально подготовленных компостов;
- жесткий контроль выполнения требований при подкормке растений;
- недопущение хранения или временного складирования удобрений на полях и прилегающих территориях без устройства специально подготовленных площадок с изолированным покрытием и навесом;
- недопущение строительства складов для хранения удобрений, пестицидов и средств защиты растений в поймах рек и водоохраных зонах.

Указанные требования не имеют альтернативы, их выполнение должно постоянно контролироваться. Одним из условий эффективного контроля является открытость информации на местах, прозрачность и доступность для анализа реального количества химикатов, используемых на полях. Уполномоченные органы надзора и контроля должны уделять внимание этим вопросам в целях более эффективного мониторинга водосборов и установления связей типа «воздействие-отклик» между количеством, местом, сроками внесения химикатов и изменением качества воды в водном объекте. Очевидно, что для этого необходимо наладить тесный контакт с производителями, стимулируя их к сотрудничеству путем создания и внедрения гибкой системы поощрительных мер.

3.4.3.2 Территории городской, сельской застройки и селитебные земли

Как было показано в разделе 1.1, процесс урбанизации сопровождается концентрацией различных видов хозяйственной деятельности, способствующих формированию источников диффузного загрязнения в результате

проведения строительных, раскопочно-ремонтных работ и развития территорий, эксплуатации и ремонта дорожных покрытий и объектов транспортной инфраструктуры, движения автотранспорта и загрязнения атмосферы, обслуживания септиков и мест складирования твердых бытовых отходов, проведения культурно-массовых мероприятий и проч.

Среди основных негативных факторов как прямого, так и косвенного действия, требующих первоочередного внимания, следует выделить следующие.

1. Преобладание искусственных, трудно проницаемых для талых и дождевых вод покрытий, а также уплотнение, радикальное изменение структуры и преобразование естественного почвенного и растительного покрова способствует увеличению поверхностного стока воды и усиливает смыв ЗВ.

2. Плохое санитарное состояние внутригородских территорий, улиц, участков земли вдоль автомагистралей, зон массового отдыха населения, включая фекальное загрязнение, образующееся в результате выгула домашних питомцев, загрязненность городских почв, захламленность отдельных участков хозяйственно-бытовым и производственным мусором, в том числе в прибрежной зоне водотоков, протекающих по территории населенных пунктов и пригородных зонах.

Долины городских рек сильно трансформированы, подвержены оползевым и эрозионным проявлениям, отдельные участки водоохраных зон захламлены, имеют место самовольно размещенные постройки, некоторые участки русел рек завалены древесными остатками, строительным и хозяйственно-бытовым мусором.

3. Отсутствие оборудованной ливневой канализации с очисткой стоков, включая малые города и сельские населенные пункты; излив сточных вод на поверхность в периоды дождей и таяния снега при отсутствии отдельных систем хозяйственно-бытовой и ливневой канализации; незаконные водовыпуски с частных домовладений в пригородных зонах, незаконный слив фекальных стоков ассенизационными машинами прямо в водные объекты.

4. Недостаточный производственно-экологический контроль при проведении работ по развитию и эксплуатации объектов городской инфраструктуры, строительных, земляных и ремонтных работ, связанных с перемещением и складированием грунта, строительных материалов ведет к образованию и попаданию на поверхность побочных продуктов технологических процессов (остатков горюче-смазочных материалов, химических реагентов, органических веществ различного состава, остатков строительных материалов, частиц пыли и сажи и др.). Дополнительными факторами являются организация несанкционированных стоянок на неасфальтированных поверхностях, заезд автомашин и спецтехники на газоны, открытые участки почвы, обочины дороги, что существенно увеличивает риск развития эрозионных процессов и вынос ЗВ в многоводный период.

5. Сильное снижение или практически полная утрата способности городских рек к самоочищению ввиду их заключения в подземные коллекторы, бетонирования берегов, исчезновения естественных пойменных участков, выполняющих важную барьерную роль в предотвращении прямого попадания загрязненных поверхностных вод в городские водотоки. Нарушение непрерывности речной сети, забор участков рек в коллекторы, использование прибрежных территорий под застройку различного функционального назначения приводит к фрагментации ландшафта, изменению гидрогеологической обстановки, в том числе усиливая риски подтопления территорий и повышения уровня грунтовых вод.

6. Массовая коттеджно-дачная застройка водоохраных зон водохранилищ и пойменных участков рек по нагрузке и выносу биогенных элементов сопоставима с сельскохозяйственными территориями. Косвенным фактором, сближающим ее с воздействием урбанизации, является снижение защитно-барьерной роли прибрежных территорий и увеличение непроницаемых для воды поверхностей. Садово-некоммерческие товарищества, как показывают обследования в пределах бассейна Верхней Волги, часто не имеют не только централизованной канализации, но и надлежащим образом обустроенных септиков. Хозяйственно бытовые воды выводятся непосредственно в дренажные каналы и далее по рельефу и элементам гидрографической сети – в ближайший водный объект.

В целом удельный вынос примесей со стоком поверхностных вод с урбанизированных территорий зависит от многих факторов: состояния дорожных покрытий, доли площадей с эродирующим грунтом, уровня организации и применяемой технологии уборки территории, удаления бытового мусора и промышленных отходов, уровня производства на предприятиях, режима работы пыле- и газоочистных установок, от уровня эксплуатации и технического состояния автотранспорта, от локализации участков территории, где неизбежны просыпи и проливы сырья и промежуточных продуктов, от степени внимания к вопросам складирования и транспортировки сыпучих и жидких материалов.

Мероприятия и рекомендации.

Необходимо совершенствование организационно-правового механизма контроля за санитарно-экологическим состоянием урбанизированных территорий, а также производственными процессами и организационно-техническими мероприятиями, выполняемыми в их пределах, на предмет выявления и снижения диффузного загрязнения от действующих факторов, которые перечислены выше.

1. При разработке и/или согласовании проектной и рабочей документации по строительным работам целесообразно ввести в практику

проведение ее анализа на предмет выявления возможных рисков формирования загрязнений диффузной природы, которые следует выявить на предварительной стадии, т.е. тогда, когда работы еще не начались. В частности, необходимо предусмотреть возможность:

- упорядочения отвода поверхностного стока со строительных площадок по временной системе открытых лотков, с последующим осветлением его в отстойниках и отведением на очистку;
- исключения сброса в ливневую канализацию и очистные сооружения отходов производства, в том числе горюче-смазочных материалов и нефтепродуктов;
- разработку жесткой системы контроля складирования и транспортирования сыпучих и жидких материалов, утилизации отходов и побочных продуктов;
- организацию регулярной уборки территорий.

Внимание этим и другим подобным вопросам должно уделяться со стороны строительного надзора и ведомственного мониторинга в процессе выполнения работ.

2. В стратегическом плане целесообразно стимулировать предприятия, строительные и эксплуатирующие городское хозяйство организации к внедрению технологических процессов и практик, снижающих диффузное загрязнение (см. раздел Концепции, касающийся стандартизации). Для городских территорий это особенно актуально в силу высокой концентрации различных видов хозяйственной деятельности в одном месте и поэтому более сложного внешнего контроля за источниками загрязнений.

3. Снижению негативного воздействия источников диффузного загрязнения будут также способствовать:

- проведение своевременного ремонта дорожных покрытий, а также повышение технического состояния эксплуатируемой техники и территорий стоянок наземного транспорта и автомашин;
- ограждение зон озеленения бордюрами или иными способами, исключаяющими заезд и/или стоянку автомобилей, развитие эрозии и смыв почвогрунтов во время ливневых дождей на дорожные покрытия;
- организацию уборки снега с автомобильных дорог, улиц (в первую очередь в пределах водоохранных зон), а также с других участков, наиболее подверженных загрязнению и интенсивной нагрузке (строительных площадок, складских комплексов, автозаправочных станций, портовых сооружений и др.) с последующим вывозом и утилизацией за пределами территорий, имеющих непосредственный сток в речную или дренажную сеть; развитие системы снегоплавильных пунктов с подачей стоков на очистные сооружения городской канализации.

4. Строительство систем ливневой канализации с последующей очисткой стоков на локальных очистных сооружениях. Для очистки поверхностного городского стока целесообразно применять комбинированные системы с использованием традиционных технологий, прудов-отстойников и фитоочистных сооружений, использующих механизмы биологической очистки стоков, максимально приближенные к естественным и связанные с функционированием высших водных растений и микроорганизмов, обитающих в донном грунте и прикорневом слое. Примером последних могут служить гидроботанические площадки, представляющие собой систему небольших слабопроточных естественных или искусственных водоемов, заросших высшей водной растительностью, с размещением природных сорбентов на дне и/или в фильтрующих кассетах. Следует отметить, что подобного рода сооружения наиболее эффективно использовать для селитебных территорий с малоэтажной жилой застройкой.

Кроме того, следует осуществлять мероприятия по инвентаризации и ликвидации незаконных выпусков сточных вод в ливневую канализацию, а также выпусков канализационных стоков непосредственно в водные объекты, включая грунтовые воды (наиболее актуально для коттеджной застройки и садовых товариществ в пригородных зонах).

5. Снижению нагрузки на водные объекты способствует уменьшение доли водонепроницаемых поверхностей, участков с нарушенным почвенным покровом или голой (незадернованной) почвой, ликвидация неудобий. При благоустройстве территорий следует применять подходы и практики, которые используют или имитируют природные процессы самоочищения воды при испарении, инфильтрации, биохимическом окислении, поглощении растениями и проч. К принципам создания «зеленой инфраструктуры» городских территорий относятся: сохранение и воссоздание природных ландшафтных элементов, повышение проницаемости поверхности путем создания функциональных и привлекательных на вид участков, дренирующих воду перед тем, как она попадет в ливневую канализацию, формирование отношения к дождевому и талому городскому стоку как к ресурсу, а не как к отходам. К настоящему времени разработаны многочисленные инженерно-экологические приемы и практики, которые применяются для соблюдения этих принципов⁶⁹. Среди них можно выделить: дождевые сады и пруды, зеленые крыши, биофильтрационные лотки, перехватывающие воду перед тем, как она попадет в ливневую канализацию, проницаемые тротуары. Благодаря этим и другим приемам, управление водными ресурсами может осуществляться таким образом, чтобы уменьшить воздействие застроенных районов и способствовать более естественному движению воды в пределах городского водосбора, поддерживать и/или восстанавливать его гидрологические и экологические функции.

⁶⁹ См. например материалы официального интернет-портала агентства по защите окружающей среды США. Электронный ресурс: <https://www.epa.gov/nps/urban-runoff-low-impact-development>.

3.4.3.3 Территории промышленных площадок

Поверхностный сток с территории промышленных предприятий характеризуется достаточно сложным химическим составом, который зависит от применяемых на производстве технологических процессов. Концентрация ЗВ зависит от общего санитарно-технического состояния территории, детальности контроля за технологическими процессами, организации хранения и транспортирования сырья, промежуточных и готовых продуктов, а также от принятой системы обращения с отходами. Когда речь заходит о крупных предприятиях, включающих различные производства, важно понимать, что поверхностный сток, поступающий с разных участков, по своим гидрохимическим показателям может быть неоднороден, что должно учитываться при разработке технологии его очистки и отведения.

В зависимости от состава загрязнений, накапливающихся на промышленных площадках и смываемых поверхностным стоком, промышленные предприятия и их отдельные территории можно разделить на две группы.

Первая группа – это предприятия, сток с которых по химическому составу близок к поверхностному стоку селитебных зон и не содержит специфических веществ с токсичными свойствами. К этой группе относятся предприятия черной металлургии (за исключением коксохимических производств), машиностроения, автомобильного транспорта, угольной промышленности и некоторых отраслей химической промышленности. Основными примесями, содержащимися в стоке с территорий предприятий этой группы, являются грубодисперсные примеси, нефтепродукты, сорбированные главным образом на взвешенных веществах, минеральные соли и органические примеси естественного происхождения. Но в отдельных случаях концентрация примесей в поверхностном стоке с территории промышленных предприятий может достигать значительных величин, в частности, при сборе в ливневую сеть отработанных нефтепродуктов и других отходов производства, аварийных проливах и просыпках сырья.

Вторая группа – это предприятия, на которых по условиям производства не представляется возможным в полной мере исключить поступление специфических примесей. К ним относятся предприятия цветной металлургии, нефтехимической, коксохимической, химической, мясоперерабатывающей и других отраслей промышленности.

В целом влияние на качество природных вод оказывают следующие факторы.

1. Формирование обширных загрязненных зон вокруг предприятий от атмосферных выбросов, фильтрационных разгрузок от хранилищ жидких и твердых отходов, отвалов горных пород, рассолосборников, прудов-накопителей дождевых и сточных вод. Часто ЗВ накапливаются в почвах, снеж-

ном покрове, поступают в грунтовые, пойменно-русловые участки рек и вымываются дождями и талым стоком.

Помимо выноса загрязнений с талыми, дождевыми и грунтовыми водами, загрязненными выбросами предприятия, они поступают в водный объект за счет эрозионного смыва почв. Данный процесс проходит на промышленных водосборах наиболее активно, в связи с угнетением и/или полной деградацией вокруг предприятий растительного покрова, который предохраняет почву от размыва.

2. Отсутствие или ненадлежащее обустройство мест временного складирования сырья и промышленных отходов, недостаточность производственного контроля при обращении с такими отходами; нарушенная (неэффективная) система ливневой канализации в условиях утечек технологического оборудования, потерь сырья в процессе погрузочно-разгрузочных работ и проч.

Результаты исследований дождевого поверхностного стока, выполненных на промплощадках водосбора Ивановского водохранилища, показывают, что в течение первых 10–15 минут после начала дождя в поверхностном стоке содержится такое же количество ЗВ, как и в хозяйственно-бытовых сточных водах: в течение первой половины дождя со стекающей водой выносятся 67 % органических и 85 % нерастворимых взвесей.

3. Невнимание к вопросам диффузного загрязнения, поступающего от концентрированного в одном месте набора технологических процессов и производственных операций, или длительная утилизация отходов без соответствующей обработки и игнорирование вопросов охраны окружающей среды приводят к формированию участков или зон т.н. накопленного экологического ущерба, часто с неконтролируемыми и долгосрочными последствиями для природных вод. Мероприятия по реабилитации и очистке таких объектов чрезвычайно трудоемки, дорогостоящи и поэтому нереализуемы в полной мере.

Мероприятия и рекомендации.

1. Вся территория в пределах промышленной площадки должна быть полностью канализована, а образующиеся стоки очищены на локальных очистных сооружениях. При проектировании систем сбора и очистки ливневых вод целесообразно рассмотреть использование очищенных стоков в системах водоснабжения, полива, пожаротушения, а также возможность их очистки совместно с производственными или городскими сточными водами.

В отдельных случаях целесообразно предусмотреть отдельные отведение и схему очистки поверхностного стока с разных площадок внутри территории предприятия, отличающихся по характеру, степени и/или опасности загрязнения (ЗВ, очистка которых требует более сложных технологий).

2. Для сокращения потерь сырья, утечек отходов, нефтепродуктов и предотвращения загрязнения почвы, грунтовых вод при хранении топлива, мелком ремонте, стоянке и обслуживании техники необходимо:

- исключить хранение горюче-смазочных материалов, заправку топливом, ремонт и техобслуживание спец. техники вне специально оборудованных площадок;
- осуществлять постоянный надзор за герметичностью технологического оборудования, спецтехники и механизмов, сальниковых устройств, фланцевых соединений, съемных деталей, люков и т.п.;
- под резервуарами хранения топлива предусмотреть перехватывающие лотки, поддоны для своевременного обнаружения и устранения утечек;
- в местах возможного загрязнения почв и территории применять специальные стойкие и не впитывающие нефтепродукты покрытия;
- разработать и/или совершенствовать логистические операции (схемы) при складировании, транспортировании сыпучих, жидких материалов, сырья, топлива.

3. Повышение эффективности работы пыле- и газоочистных установок предприятий с целью максимальной очистки выбросов в атмосферу и предотвращения появления в поверхностном стоке специфических загрязняющих компонентов. Совершенствование системы очистки атмосферных выбросов является безальтернативным путем снижения негативного воздействия на элементы окружающей среды, расположенные в зоне аэрогенного влияния предприятия.

Рекомендации, представленные в приведенном выше блоке, могут выполняться по результатам внешнего и внутреннего экологического аудита в рамках реализации и совершенствования экологической политики предприятия. Указанные мероприятия носят профилактический характер, снижают риски возникновения источников диффузного загрязнения. Однако, как показали поисковые работы, которые были проведены в рамках разработки настоящей Концепции, в бассейне р. Волги и ее притоков распространены случаи деградации природных ландшафтов и загрязнения достаточно обширных элементов водосбора: район Бурнаковской низины в Нижнем Новгороде, территория и водные объекты вокруг Среднеуральского медеплавильного завода, участок р. Камы в районе Соликамского промышленного узла, водные объекты (озера, карьеры) в пойме р. Вятки в районе г. Кирово-Чипецка и некоторые другие. Для каждого из них хотя и характерны свои специфические проблемы качества природных вод, но все они связаны с поступлением загрязнений от вторичных источников (почв, грунтовых, пойменных вод, донных отложений в реках), которые формировались в результате длительного воздействия в предшествующий период, в том числе в результате размещения (отвода) отходов и производственных стоков. Для устранения негативного влияния таких источников на качество воды требуются специальные ресурсоемкие инженерные и организацион-

но-технические мероприятия, которые подробно проанализированы в соответствующих отчетах. Далее приведены лишь основные особенности мероприятий для подобных объектов.

4. В случае деградации почвенного и растительного покрова и загрязнения почвогрунтов тяжелыми металлами требуется рекультивация территории, которая должна включать:

- сорбцию ЗВ, содержащихся в склоновом и почвенно-грунтовом стоке, путем создания преград с использованием природных сорбентов, обладающих значительной сорбционной емкостью по отношению к металлам и одновременно относительно доступных для использования, например: диатомиты и трепелы, цеолит, кремнезем (опока), торф;
- формирование дернового слоя, повышающего аккумулирующую емкость водосбора и снижающего эрозионные процессы на нем, снижение токсичности почв и повышение их плодородия, включая посев травы и посадку древесно-кустарниковой растительности с предварительной засыпкой наиболее загрязненной части водосбора почвенным слоем мощностью не менее 15–20 см.

5. При фильтрационных разгрузках из отстойников жидких отходов, шламохранилищ, рассолоборников необходимо рассмотреть возможность их ликвидации или создания противофильтрационных экранов из различных защитных материалов (уплотненной глины, грунтово-полимерной смеси, асфальтополимербетона, глинобетона, полиэтиленовой пленки, битумных покрытий) с учетом конкретных гидрогеологических условий и состава фильтрационных вод. Наиболее сложная ситуация может складываться, когда растворы скапливаются в природных средах, таких, как грунтовые воды или водовмещающие толщи пойменных отложений, имеющих гидравлическую связь с реками. В подобных случаях единственным эффективным мероприятием будет откачка загрязненных вод с подачей на специально построенные очистные сооружения, что может быть нерентабельно.

6. В ряде случаев (в зависимости от состава и концентраций загрязнений) возможно применение комплексного подхода, основанного на применении взаимодополняющих инженерных методов, нацеленных на максимально возможную рекультивацию территории.

Для объектов типа Бурнаковской низины (см. раздел 2.2.3), характеризующихся загрязнением нефтепродуктами, предлагается следующий набор мероприятий:

а) рекультивация поверхностных водоемов, включая закрепление берегов и предотвращение процессов эрозии, фиторемедиация береговой полосы и прибрежной зоны с последующей утилизацией или захоронением биологических материалов; дополнительной мерой может служить

очистка поверхностных вод в периоды неблагоприятных природных процессов;

б) рекультивация и стабилизация донных отложений загрязненных водоемов путем литификации или инкапсулирования органического вещества донного осадка;

в) очистка грунтовых вод путем откачки плавающей пленки (гидрофобной легкой фазы) и отправки вод на локальные очистные сооружения (поверхностные биологические пруды);

г) выборочная экскавация и захоронение на полигонах ТКО грунтов «чрезвычайно опасной» категории загрязнения с последующей фиторемедиацией и ландшафтной рекультивацией территории.

3.4.3.4 Территории свалок и полигонов ТБО

1. Неэффективная система сбора, предварительной сортировки и переработки отходов приводит к тому, что свалочный фильтрат представляет собой поликомпонентную жидкость и включает различные органические и неорганические соединения, патогенную микрофлору, микроскопические грибы и паразитарные организмы. Поликомпонентный состав осложняет обоснование и выбор системы очистки воды, фильтрующейся со свалок и полигонов. По отдельным компонентам в свалочном фильтрате наблюдается сто и тысячекратное превышение рыбохозяйственных ПДК по таким показателям, как: ХПК, БПК₅, аммоний-ион, медь, железо, цинк и ряд других тяжелых металлов.

2. Стихийная организация полигонов в отработанных песчаных карьерах без предварительной инженерной подготовки дна и бортов, при отсутствии гидроизоляционных экранов и/или при их неправильной установке создает высокие риски загрязнения грунтовых и поверхностных вод свалочным фильтратом. При формировании свалок происходит заполнение оврагов и долин малых рек, карьеров, выемок и образование пустошей. При стихийном складировании отходов повсеместно, особенно в новых микрорайонах и территориях, приуроченных к овражно-балочным системам и заброшенным карьерным выемкам, формируются мусорные микрокурганы. На многих действующих свалках, особенно небольших населенных пунктов, не оборудованы котлованы со строго горизонтальным основанием, не предусмотрены каскады плотин, нагорные каналы для отвода паводковых и дождевых вод, контрольные скважины, ванны для дезинфекции колес мусоровозов. Не соблюдается элементарная технология складирования ТБО (послойная изоляция грунтом)⁷⁰.

⁷⁰ См., например, требования документа: «Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов», утв. Минстроем России 02.11.1996.

3. Размещение в неблагоприятных геологических условиях (в отсутствие, слабой мощности или при наличии нарушений сплошности водоупорных пластов, фильтрационных окон), а также в непосредственной близости от естественных дренажей и водных объектов. Принятие решений о проектировании полигонов часто происходит при недостатке должным образом выполненных инженерно-экологических изысканий.

4. Характерно формирование существенных вторичных источников загрязнения почв и растительного покрова, а также донных отложений в близлежащих водотоках. Таким образом, как и в случае с объектами накопленного вреда, негативное воздействие полигонов на качество воды может носить отложенный долговременный эффект даже после их рекультивации. При этом следует отметить, что в большинстве случаев имеет место практически полное отсутствие системности при проведении инструментального контроля за потоками (направлениями миграции), химическим и бактериальным составом ЗВ с территории полигонов. Недостаточное внимание уделяется мониторингу хлорорганических соединений, нормативы содержания в воде которых в последние годы были ужесточены. В целом исследования по оценке экологической опасности объектов складирования отходов для водных объектов носят фрагментарный характер.

Мероприятия и рекомендации.

Наиболее эффективным водоохраным мероприятием является уменьшение многокомпонентности состава и снижение общего количества образующихся отходов. Это достигается путем реализации комплекса мероприятий, начиная со стадии потребления и далее – к раздельному сбору мусора, сортировке отходов и последующей переработке в целях вторичного использования. Примеры организационно-правовых механизмов такого подхода хорошо известны и далее не обсуждаются.

В общем случае водоохраные мероприятия следует рассматривать через призму жизненного цикла полигона: проектирование, эксплуатация действующего полигона, рекультивация.

1. При проектировании и строительстве полигонов должны быть предусмотрены следующие приемы, суть которых сводится к максимальному экранированию тела полигона:

- противодиффузионные экраны природного происхождения (естественная защита);
- противодиффузионные устройства (экраны, завесы и проч.) для предотвращения миграции ЗВ с фильтрационными водами;
- дренажные системы, предназначенные как для организованного отвода фильтрационных вод из массива размещаемых отходов, так и для отвода поверхностного и подземного стока с прилегающей территории;

– обваловка территории, сооружение плотин и дамб для предотвращения разлива отходов и загрязнения окружающей среды.

На стадии принятия решения о размещении полигона должны быть учтены все особенности территории и ее геологического строения на основании проведения соответствующих инженерно-экологических изысканий.

2. На стадии эксплуатации с целью предотвращения попадания ЗВ в подземные и поверхностные водные объекты осуществляются мероприятия:

- использование временных укрывных материалов, навесов для снижения количества атмосферных осадков, поступающих на территорию полигона;
- послойное уплотнение размещаемых отходов, для снижения фильтрационных свойств отходов и уменьшения объемов фильтрационных вод;
- обращение с фильтрационными водами, заключающееся в их отводе с помощью дренажных систем, сборе, очистке с последующим сбросом или использованием, т.е. перевод из диффузных в точечные источники⁷¹.

В случаях, когда имеет место загрязнение подземных вод специфически трудно разлагаемыми ЗВ высокой токсичности, например, хлорорганическими соединениями⁷², целесообразно создание проницаемых реакционных барьеров непосредственно в водоносном пласте. Это достигается внедрением в пористую среду реагента, содействующего протеканию химических и биологических процессов, нейтрализующего ЗВ, или закачкой в пласт окислителя для трансформации хлорорганических соединений в менее опасные химические соединения⁷³.

3. На этапе закрытия полигона мероприятия заключаются в изоляции отходов для предотвращения контакта поверхностных и подземных вод из окружающей среды и образования фильтрационных вод.

⁷¹ В целом методы обработки фильтрата свалок могут быть объединены в подгруппы:

- сброс в канализацию для последующей совместной обработки с бытовыми сточными водами и подача на поверхность свалки по замкнутому циклу;
- биологическая обработка (аэробная и анаэробная);
- химико-физическая обработка (химическое осаждение, химическое окисление, адсорбция с применением активированного угля, обратный осмос и др.). Особенности и примеры применения каждого из методов хорошо известны, многие из них запатентованы (см. например Российский реестр патентов: <http://bd.patent.su/>, а также базы данных Научно-технического портала: <http://www.ntpo.com/>).

⁷² См. результаты специальных исследований, выполненных для подмосковного полигона ТБО «Щербинка» в рамках разработки настоящей Концепции.

⁷³ Дополнительные сведения можно получить из Информационно-технического справочника по наилучшим доступным технологиям ИТС 17–2016 «Размещение отходов производства и потребления» (опубликован Росстандартом 20 декабря 2016 г.) (https://www.gost.ru/portal/gost/home/activity/NDT/sprav_NDT_2016), утв. Приказом Росстандарта от 15 декабря 2016 г. № 1885 «Об утверждении информационно-технического справочника по наилучшим доступным технологиям «Размещение отходов производства и потребления». Данные в справочнике систематизированы с учетом имеющихся технологий, оборудования, ресурсов, а также с учетом климатических, геоморфологических, геологических, экономических и социальных особенностей Российской Федерации.

3.5 ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ КОНЦЕПЦИИ ПО СНИЖЕНИЮ ДИФFUЗНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В БАССЕЙНЕ ВОЛГИ В ЭКОНОМИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СФЕРАХ

«Эффективность, в самом общем смысле – отношение полезного эффекта (результата) к затратам на его получение. В экономическом контексте – сравнение результатов (в т.ч. побочных и косвенных) хозяйственной деятельности с затраченными ресурсами: трудовыми, материальными, природными, основными фондами и др.» [Экономико-математический..., 2003, с. 655–656]. Частные смыслы этого понятия определяются исключительно тем, какие итоги осуществленной или предполагаемой (планируемой, проектируемой) деятельности включаются в состав ее результата (эффекта), как они измеряются и соизмеряются (поскольку числитель упоминаемого в цитированной дефиниции отношения – скалярная величина) и, соответственно, что включается в состав затрат и как измеряются и соизмеряются их составляющие. Естественно, что как состав результата и затрат, так и методы измерения и соизмерения компонентов результата и затрат определяются спецификой конкретной задачи оценки эффективности: тем, эффективность чего (мероприятия, системы мероприятий, проекта, плана и пр.) оценивается, с какой целью производится такая оценка, какой период времени избран для учета результата и затрат, каковы возможности измерения их составляющих – вообще и в денежном выражении в частности (в относительно редких случаях, прежде всего в эколого-экономических задачах, результат может измеряться и в физических единицах) и т.д. и т.п.

Приходится констатировать, что на данный момент «эффективность внедрения Концепции по снижению диффузного загрязнения в бассейне Волги» не подпадает под цитированное понимание эффективности ни «в самом общем смысле», ни в каком-либо из частных смыслов. Внедрение Концепции может быть осуществлено множеством весьма разнообразных способов, и некоторые из этих способов могли бы при определенных условиях стать объектами оценки их эффективности, причем не полной, а лишь частичной, поскольку далеко не все результаты внедрения Концепции при любом варианте ее внедрения допускают количественную оценку, тем более – в финансовом выражении.

В отечественной традиции стратегического планирования за разработкой концепции решения крупной государственной задачи (социальной, экономической, политической, экологической, а также, возможно, какой-либо иной) обычно следует разработка стратегии реализации концепции. Разработка стратегии реализации Концепции по снижению диффузного загрязнения в бассейне Волги не предполагалась техническим заданием соответствующей НИР в национальном проекте «Оздоровление Волги», а при сроках и финансовом обеспечении, отведенных для выполнения данной

НИР, такая разработка была просто невозможна. Поэтому в предположении об обязательности на следующем этапе научных исследований в рамках национального проекта «Оздоровление Волги» разработки стратегии реализации Концепции можно сформулировать лишь общие указания методического характера, касающиеся показателей эффективности внедрения Концепции, их исчисления и применения.

Если общепринятые подходы к анализу эффективности неприменимы к оценке Концепции, надо обратиться к цели ее разработки и выяснить, содействует ли она достижению этой цели и решению сопряженных с нею задач.

Конечная цель разработки Концепции очевидна: создание научных основ для деятельности по планомерному сокращению диффузного загрязнения р. Волги и водных объектов ее бассейна вплоть до достижения приемлемого уровня такого загрязнения. Однако такое описание цели слишком общо, а конкретизация неизбежно приводит к системе подцелей. Рассмотрим эти подцели в соответствии с п. 3.1 настоящей Концепции, где они приведены.

Первая подцель: Концепция «определяет... базовые принципы и приоритетные направления реализации государственной политики по планомерному снижению поступления в водные объекты ЗВ с антропогенно измененных водосборных территорий». В соответствующих разделах Концепции и базовые принципы, и приоритетные направления государственной политики по снижению загрязнения р. Волги из распределенных источников определены, все эти принципы и направления проиллюстрированы на примерах пилотных объектов в бассейне р. Волги.

Вторая подцель: Концепция «представляет методологическую основу оценки негативного воздействия рассредоточенных (диффузных) источников загрязнения на качество воды (поверхностных водных объектов) и выбора приоритетных мер по его предотвращению». Помимо собственно научных разработок этой проблематики создано более 15 инструктивных и методических документов для решения указанных задач, большая часть из них апробирована на панельных объектах Волжского бассейна.

Третья подцель: Концепция обозначает основные направления развития нормативно-правового, методического, информационного и организационного обеспечения регулирования хозяйственной деятельности на водосборных территориях. Все эти основные направления сформулированы, обоснованы, выделены важнейшие задачи, которые должны быть решены для продвижения в данных направлениях.

Далее в разделе 3.1 определены четыре общие цели Концепции, если ограничиться краткими формулировками, то это 1) подготовка предложений по совершенствованию законодательной базы РФ, 2) разработка подходов к мониторингу диффузного загрязнения и методического обеспечения рабочих программ по оценке воздействия и регулированию источников диффузного загрязнения, 3) разработка рекомендаций по организации, пла-

нированию и реализации мероприятий, направленных на снижение диффузного загрязнения, 4) подготовка предложений по разработке механизмов и показателей эффективности внедрения Концепции на пилотных объектах в бассейне р. Волги. Эти цели также полностью достигнуты в Концепции.

Наконец, в том же разделе 3.1 отмечено, что природоохранные программы для водных объектов в бассейне р. Волги следует реализовывать в два этапа: на первом (2020–2025 гг.) осуществляются программы мероприятий для выделенных пилотных водных объектов, на втором – по итогам результатов первого этапа для 2–3 водных объектов, выбранных в пределах каждого из 38 «волжских» субъектов РФ.

Концепция может и должна быть использована при разработке программ аналогичной направленности для других речных бассейнов в Российской Федерации. Именно этого требует миссия Концепции: изменить отношение общества и системы управления к проблеме диффузного загрязнения водных объектов и через этот, казалось бы, частный аспект более общей темы – необходимости сохранения водных ресурсов и нормализации экологической обстановки в бассейнах всех водных объектов страны – добиться существенных сдвигов в восприятии водно-экологической проблематики в целом.

При таком понимании миссии Концепции вопрос о финансовой оценке результатов ее внедрения становится некорректным. Не следует забывать и о том, что качество воды в водных объектах – источниках питьевого водоснабжения, во многом (нередко в решающей степени) зависящее от диффузного загрязнения, – имеет непосредственное отношение к безопасности государства (как и ряд других проблем водных ресурсов, их эксплуатации и управления ими). Конечно, при решении проблем безопасности затраты на реализацию признанных необходимыми мероприятий тщательно учитываются и при наличии различных вариантов их реализации выбираются наиболее рациональные. Но определяющие усиление безопасности факторы (не технические средства!) не продаются на рынке, не имеют рыночной цены и не оцениваются косвенными методами (типа гедонистических моделей), эффект таких мероприятий не имеет финансовой оценки в принципе.

Значительное место в Концепции занимают вопросы мониторинга гидрометеорологических процессов, экологического состояния водных объектов и их водосборов. Поскольку прямое измерение количеств (либо концентраций) ЗВ, поступающих в водные объекты из неточечных (неконтролируемых, распределенных) источников, практически невозможно, все оценки диффузного загрязнения определены косвенным (расчетным) путем. Мониторинговые задачи в Концепции рассматриваются в двух аспектах: во-первых, как использовать доставляемые существующей сетью гидрометеорологических наблюдений данные для получения информации о диффузном загрязнении водных объектов и, во-вторых, какими новыми средствами и методиками наблюдений надо дополнить систему, чтобы о диффузном загрязнении в конечном счете получить больше информации и улучшить ее

качество. Как измерить эффект от внедрения предложений в этой области? Хотя гидрометеорологические и экологические данные продаются пользователям системой Росгидромета, никакого рынка здесь нет – ни конкуренции, ни равновесия спроса и предложения, ни отражения в цене общественной полезности того, что продается. А потому нет и не может быть оценок эффективности мероприятий по развитию гидрометеорологической службы. Необходимость и/или целесообразность таких мероприятий может быть установлена только экспертным путем на основе специальных научных исследований, к каковым относится и научная программа в составе приоритетного проекта «Оздоровление Волги».

В российском среднем образовании производится «экологизация» предметов естественно-научного и общественно-научного циклов. Экологические вопросы должны изучаться на уроках физики, химии, биологии, географии. Это значит, что все высшие педагогические учебные заведения, готовящие будущих учителей по названным четырем предметам, должны преподавать им циклы экологических дисциплин, в том числе и по гидроэкологии. Современный курс гидроэкологии должен включать и раздел по диффузному загрязнению водных объектов – подготовка соответствующего учебного пособия предусмотрена техническим заданием на выполнение НИР в рамках национального проекта «Оздоровление Волги». Современная экономическая наука не имеет никаких средств для оценки эффективности разработки такого учебного пособия и его «внедрения» в учебный процесс. Некоторые способы такой оценки можно было бы предложить, если знать, какие потери несет экономика, социум и природа вследствие исключительно низкого уровня знаний по экологии у населения России и крайне низкой экологической квалификации работников системы управления. Но не имеется никаких подходов к оценке таких потерь.

Аналогичные выводы относительно некорректности попыток исчислять эффективность предложений по изменению законодательства, введению новых или корректировке действующих нормативов и стандартов (по крайней мере, в большинстве случаев) и т.п. можно обосновать без труда. Подобные предложения в значительном количестве содержатся в Концепции, их реализация необходима для достижения ее цели и выполнения ее миссии.

Внедрение Концепции, естественно, предполагает реализацию множества разнообразных природоохранных мероприятий на объектах – источниках диффузного загрязнения. Именно эти мероприятия служат непосредственными причинами всех конкретных антропогенных целенаправленных сокращений диффузного загрязнения, в то время как остальные активности (мониторинг, контроль, надзор, нормирование, стандартизация, прогнозирование, планирование, исследования, изыскания, образование, воспитание и т.д.) обеспечивают понимание необходимости подобных мероприятий, наилучший выбор среди них для реализации, лучшее проектирование, выполнение и т.п. Такими объектами служат территории городов и других поселений, промплощадки, сельскохозяйственные поля, полигоны и свалки

для хранения отходов, всевозможные очаги накопленного (прошлого) экологического ущерба, портовые сооружения, речной флот, дороги и пр. Мероприятия, направленные на сокращение диффузного загрязнения, исходящего из подобных объектов, могут и должны быть проанализированы с позиций экологической, экономической и социальной эффективности. Каковы возможности анализа эффективности таких мероприятий и какие показатели могут при этом использоваться для ее оценки?

Возвращаясь к определению эффективности (в самом общем смысле), цитированному в начале данного раздела, отметим, что природоохранные мероприятия, направленные на сокращение диффузного стока в водные объекты, могут иметь своим результатом экологические, социальные и экономические эффекты, причем первые, естественно («по определению») положительны, а вторые и, особенно, третьи могут быть и отрицательными. Кроме того, эффекты каждого из этих трех типов разнообразны, и одно мероприятие может приводить к нескольким экологическим, нескольким социальным и нескольким экономическим эффектам. Рассмотрим пример.

Пусть планируется высадка водоохранного леса с целью его возобновления там, где он когда-то был вырублен и замещен пашней. Экологические эффекты: водоохранный (сокращение диффузного загрязнения и улучшение качества воды в реке) – \mathcal{E}_1 , создание коридора между фрагментированными лесными участками (экологический каркас) – \mathcal{E}_2 ; социальные эффекты: рост рекреационной привлекательности местности – C_1 , доступность экологических и иных полезностей леса для населения – C_2 , недовольство части населения потерей рабочих мест на сельскохозяйственном предприятии, эксплуатировавшем пашню – C_3 ; экономические (хозяйственные) эффекты: уменьшение прибыли на сельскохозяйственном предприятии – X_1 , дополнительная прибыль от использования возросшего рекреационного потенциала – X_2 ; возможны и другие эффекты всех трех типов. Очевидно, что только для эффекта X_1 нет проблем с его оценкой в денежном выражении, для X_2 такие проблемы связаны с тем, что дело касается прогнозирования: заранее величину этого эффекта можно только прогнозировать, хотя через какое-то время (15–20 лет) ее можно будет измерить с более-менее приемлемой точностью. Все остальные эффекты – экологические и социальные – сколько-нибудь надежно оценить вряд ли удастся. Более того, на момент принятия решения в физических единицах без особых трудностей можно измерить только C_3 (количество недовольных может быть установлено прямым опросом), а \mathcal{E}_1 можно только прогнозировать. При этом надо помнить, что исходно качество воды описывается не скаляром, а вектором (с размерностью, равной числу учитываемых ЗВ), скаляр получается при переходе к какому-либо сводному показателю (например УКИЗВ) как взвешенная сумма компонент вектора.

Показатели эффективности реализации мероприятий будем называть частными, если они отражают один из типов достигаемого в результате их реализации эффектов по отношению к произведенным затратам. Соответственно, различаются экологические, социальные и экономические

частные показатели эффективности. Кроме того, вводится основной показатель эффективности – общая эффективность, когда берется отношение к произведенным затратам суммы оценок всех эффектов, которые удалось представить в денежном выражении.

Если $\mathcal{E}_i, i=1, 2, \dots, n^{\mathcal{E}}$, – экологические эффекты реализации мероприятия, которые удалось измерить в общих для всех них единицах (необязательно денежных), а Z – затраты на реализацию мероприятия, то его экологическая эффективность $E^{\mathcal{E}}$ выражается формулой $E^{\mathcal{E}} = \frac{\sum_{i=1}^{n^{\mathcal{E}}} \mathcal{E}_i}{Z}$. Очевидна условность такого показателя: он учитывает только один вид эффектов (экологические), но соотносит их всем затратам на реализацию мероприятия, которое, помимо экологических, наверняка приносит и другие эффекты – социальные и экономические.

Вводя аналогичные обозначения, получим формулы для (частной) социальной эффективности и (частной) экономической эффективности. А именно, пусть $C_i, i=1, 2, \dots, n^C$, – социальные эффекты реализации мероприятия, которые удалось измерить в общих для всех них единицах (необязательно денежных), тогда его социальная эффективность выражается формулой $E^C = \frac{\sum_{i=1}^{n^C} C_i}{Z}$. Соответственно, пусть $X_i, i=1, 2, \dots, n^X$, – экономические эффекты реализации мероприятия, которые удалось измерить в денежных единицах, тогда его экономическая эффективность выражается формулой $E^X = \frac{\sum_{i=1}^{n^X} X_i}{Z}$. Эти показатели частной эффективности условны в такой же мере, что и показатель частной экологической эффективности.

Наконец, общая эффективность $E^{\text{общ}}$ мероприятия выражается формулой

$$E^{\text{общ}} = \frac{\sum_{i=1}^{n^{\mathcal{E}}} \mathcal{E}_i + \sum_{i=1}^{n^C} C_i + \sum_{i=1}^{n^X} X_i}{Z}.$$

Показатель общей эффективности также условен, но его ограниченность, определяющая эту условность, вызвана тем, что ряд эффектов (социальных и, особенно, экологических) не удастся измерить в денежном выражении либо – даже – и в физических единицах. Общая эффективность может считаться полной эффективностью лишь тогда, когда все эффекты реализации мероприятия суть торгуемые на рынке сущности и имеют рыночные цены. Такая ситуация никогда не встречается при реализации экологических, в том числе водоохранных мероприятий.

Для оценки природоохранных мероприятий (природоохранной деятельности) нередко используется показатель предотвращенного экологического ущерба⁷⁴. Предотвращенный экологический ущерб как характеристика при-

⁷⁴ Временная методика определения предотвращенного экологического ущерба (утв. Госкомэкологией РФ 09.03.1999) http://snipov.net/c_4654_snip_99702.html

родоохранного (или иного) мероприятия представляет собой оценку в денежном выражении возможных последствий негативного воздействия на окружающую среду, которых удалось избежать в результате реализации этого мероприятия. Очевидно, что предотвращенный экологический ущерб – частный случай приведенного выше понимания экологического эффекта.

Специальным экономическим вопросом является оценка затрат на реализацию мероприятия. Сложности возникают тогда, когда затраты производятся в течение периода, превышающего по длительности один год – «разновременные» затраты. Соизмерение разновременных затрат производится с помощью дисконтирования – стандартным экономическим приемом. Другое осложнение – соизмерение текущих и капитальных затрат, оно также разрешается использованием известной формулы приведенных затрат.

В планировании каждый показатель эффективности может быть оценен только после определения (хотя бы сценарного) затрат на осуществление предполагаемой деятельности и наличия проектных материалов по ее реализации, хотя бы самых грубых, на уровне технико-экономического доклада или аналогичных по уровню точности документов. Современные экспертные системы могут (при наличии в их информационном обеспечении необходимых данных) обеспечивать пользователю возможность решать как прямые, так и обратные задачи составления и анализа планов деятельности (как текущих, так и инвестиционных). Прямые задачи предполагают ответ на вопрос о том, какие затраты требуются для осуществления намеченного мероприятия (системы мероприятий) при тех или иных значениях характеризующих его (их) параметров (например посевных площадей под различные культуры, объемов воды и режимов полива при разных гидромелиоративных технологиях и т.п.), обратные задачи определяют мероприятие (набор мероприятий), которое (который) наиболее целесообразно реализовать при заданном объеме инвестиций. В прямых задачах показатели эффективности исчисляются в зависимости от найденного решения, в обратных задачах они, наряду с другими параметрами, используются при поиске решения (затратные характеристики мероприятий или их вариантов полагаются заданными).

Представленные в данной Концепции прототипы экспертных систем поддержки принятия решений по оптимизации мероприятий, направленных на охрану пилотных водных объектов от диффузных загрязнений, предусматривают решение прямых и обратных задач составления и анализа планов деятельности с учетом прямых результатов и косвенных последствий в экономической и экологической сферах.

ГЛАВА 4

ПРИМЕРЫ СИСТЕМ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ОХРАНЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ БАССЕЙНА ВОЛГИ ОТ ДИФFUЗНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

4.1 ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА «РИСК ДИФFUЗНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В БАССЕЙНЕ ВОЛГИ»

4.1.1 Общие сведения

Географическая информационная система (ГИС) представляет собой программно-аппаратный комплекс, осуществляющий сбор, отображение, обработку, анализ и распространение информации о пространственно распределенных объектах и явлениях на основе электронных карт, связанных с ними баз данных и сопутствующих материалов. Это современное средство решения разнообразных задач, в числе которых:

- создание высококачественной картографической продукции;
- связывание графических объектов с информацией в базах данных;
- представление данных в виде карт, диаграмм, графиков, схем;
- анализ пространственных данных, моделирование обстановки;
- поддержка принятия управленческих и оперативных решений;
- интегрирование данных из разных источников информации;
- взаимодействие с другими информационными системами и технологиями.

В системе задач охраны окружающей среды следующие характеристики современных геоинформационных технологий являются наиболее полезными:

- оперативность предоставления необходимой информации, что особенно важно в случаях чрезвычайных ситуаций (ЧС) с загрязнением территорий;
- наглядность при отображении накопленной в системе информации, что значительно облегчает и делает более эффективным процесс принятия решений;
- однородность информации на различных иерархических уровнях (федеральном, территориальном и локальном) и между различными ведомственными системами, что обеспечивает унификацию исходной информации и средств поддержки принятия решений в различных звеньях системы, стандартизацию требований к обмену информацией;

- широкие возможности по анализу пространственно распределенной информации и выявлению причинно-следственных зависимостей методами корреляционного, регрессионного, кластерного, факторного и др. видов анализа;
- возможность интеграции в единую систему поддержки принятия решений с разнородными базами данных, содержащими цифровую, символьную и графическую информацию, и моделирующими системами;
- гибкость системы, возможность наращивания функциональных возможностей;
- удобный пользовательский интерфейс, что облегчает обучение работе нового персонала.

4.1.2 Выбор ГИС для реализации проекта

В настоящее время разработка ГИС – это огромная индустрия. Компания ESRI (Environmental System Research Institute, Институт исследований систем окружающей среды США) является лидирующей в мире компанией – разработчиком и поставщиком программного обеспечения ГИС ARC/INFO и ArcGIS for Desktop. Продукты компании ESRI – постоянно развивающиеся *открытые* программные средства, позволяющие совершенствовать собственные приложения, способные наиболее эффективно решать поставленные задачи, с использованием встроенных языков программирования:

- распространять карты и обращаться к другим ГИС и базам данных как по локальным сетям, так и по глобальной сети Internet без дополнительного программирования;
- работать (поддерживать форматы) с наиболее известными реляционными базами данных (Oracle, Informix, SYBASE, SQL Microsoft и др.) в многопользовательском режиме корпоративной сети в архитектуре клиент/сервис и др.

Эти обстоятельства сделали продукты компании ESRI и форматы ARC/INFO и ArcMap своеобразными международными эталонами ГИС (подобно продуктам Windows фирмы Microsoft среди других операционных сред).

В настоящее время сотни организаций в России в системах Минприроды, МЧС, Минобрнауки и других ведомств, а также региональные органы и коммерческие организации являются пользователями продукции компании ESRI. Учитывая вышеперечисленные обстоятельства, в качестве основной среды для ГИС бассейна р. Волги выбраны продукты семейства ArcGIS for Desktop.

ArcGIS for Desktop – это группа настольных продуктов семейства ArcGIS, предоставляющая весь необходимый инструментарий для полноценной работы с географической информацией: создания и редактирования данных, оформления и публикации карт, построения запросов и анализа информации. Решения ArcGIS for Desktop представляют набор программ с единым

интерфейсом и общими принципами работы, но отличающихся по доступной функциональности.

ArcGIS for Desktop включает сотни инструментов для проведения пространственного анализа. С их помощью можно превращать данные в источник получения новой информации, оптимизировать решение множества ГИС-задач, таких, как:

- расчет плотности и расстояния;
- выполнение статистического анализа;
- анализ наложения и близости.

Благодаря поддержке различных форматов данных, можно объединить в проекте разнородные данные для отображения и последующего анализа. Инструменты для создания, организации и управления пространственной, табличной, описательной информацией предоставляют целый спектр возможностей:

- поиск географической информации;
- создание, просмотр и управление метаданными;
- оптимизация схем баз геоданных.

В ArcGIS for Desktop также доступны:

- большая библиотека условных обозначений;
- готовые шаблоны карт, легко настраиваемые под конкретные задачи;
- коллекция дополнительных элементов для оформления карт.

ArcGIS for Desktop обеспечивает простое и быстрое создание и редактирование данных. Большое количество дополнительных инструментов и настроек могут помочь в решении специализированных задач.

4.1.3 Описание ГИС «Риск диффузного загрязнения бассейна Волги»

В ходе работы в 2018 и 2019 гг. разработан ГИС-проект «Риск диффузного загрязнения бассейна р. Волги», который состоит более чем из 760 слоев. Проект разбит на блоки в зависимости от масштаба территории, для которой собирались и консолидировались данные:

1. Региональный масштаб:

- общегеографическая информация для всего бассейна р. Волги;
- данные о факторах диффузного загрязнения (ДЗ) и водоохранных мероприятиях (государственная статистика) для всего бассейна р. Волги;
- информационное обеспечение методики и оценки ДЗ для бассейна Волги (по субъектам РФ).

2. Субрегиональный масштаб:

- информационное обеспечение методики и оценки ДЗ для пилотных водных объектов (см. о пилотных водных объектах в разделе 2.2), включая результаты натурных наблюдений соисполнителей проекта в 2018 г.

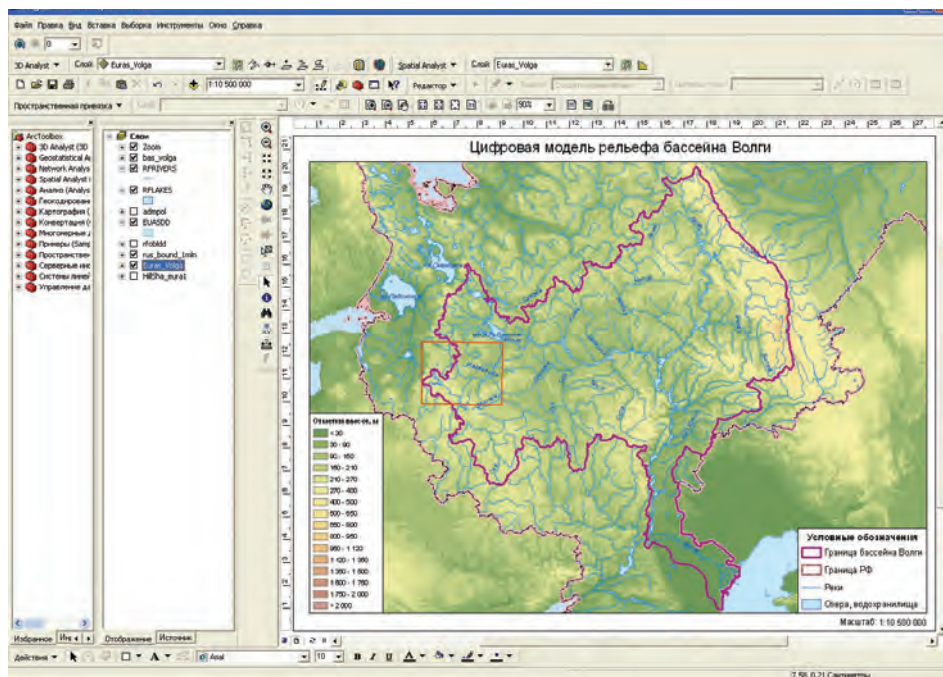


Рис. 4.1. Цифровая модель рельефа бассейна Волги

Данный ГИС-проект лег в основу разработанного прототипа экспертных систем поддержки принятия решений по оптимизации мероприятий, направленных на охрану пилотных водных объектов от ДЗ (см. подробнее раздел 4.2).

Рассмотрим более подробно некоторые примеры.

Примеры общегеографической информации ГИС для регионального уровня представлены на рис. 4.1 и 4.2.

Для анализа различных источников ДЗ в качестве исходных были использованы открытые данные, имеющиеся на сайте Федеральной службы государственной статистики (<https://www.fedstat.ru/> и www.gks.ru/). Кроме этого, были использованы статистические сборники «Водные ресурсы и водное хозяйство России», подготовленные НИА-Природа по заказу Федерального агентства водных ресурсов. Для всех субъектов федерации, полностью или частично расположенных в бассейне р. Волги, в базу данных ГИС были внесены некоторые показатели, например, такие, как:

1) поголовье крупного рогатого скота (КРС) в сельскохозяйственных организациях (всех сельхозпредприятиях), тыс. голов за 1990; 1995; 2000–2016 гг. (ежегодные данные);

2) количество внесенных сельскохозяйственными организациями органических удобрений на 1 га посева (тонн) за 1993–2017 гг. (ежегодные данные);

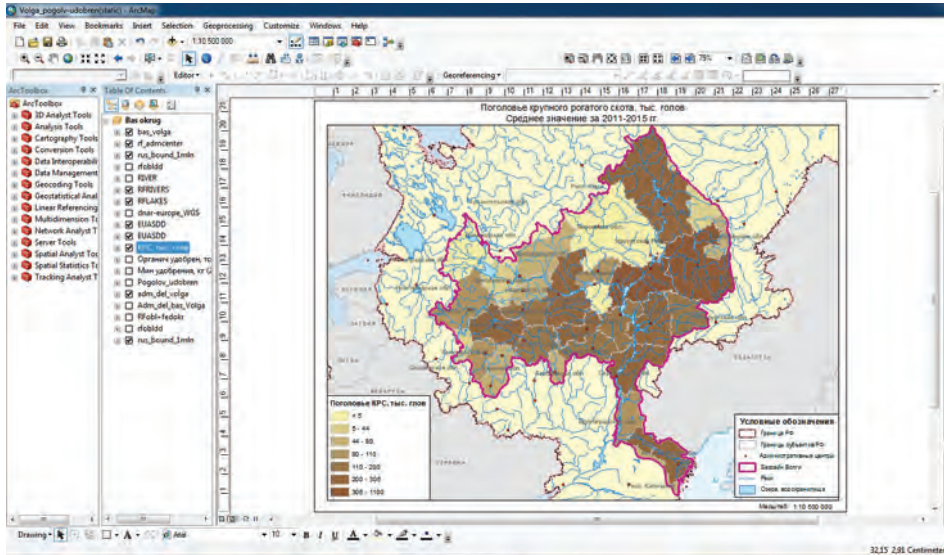


Рис. 4.3. Поголовье крупного рогатого скота (КРС) в сельскохозяйственных организациях (всех сельхозпредприятиях), тыс. голов (среднее за 2011-2015 гг.)

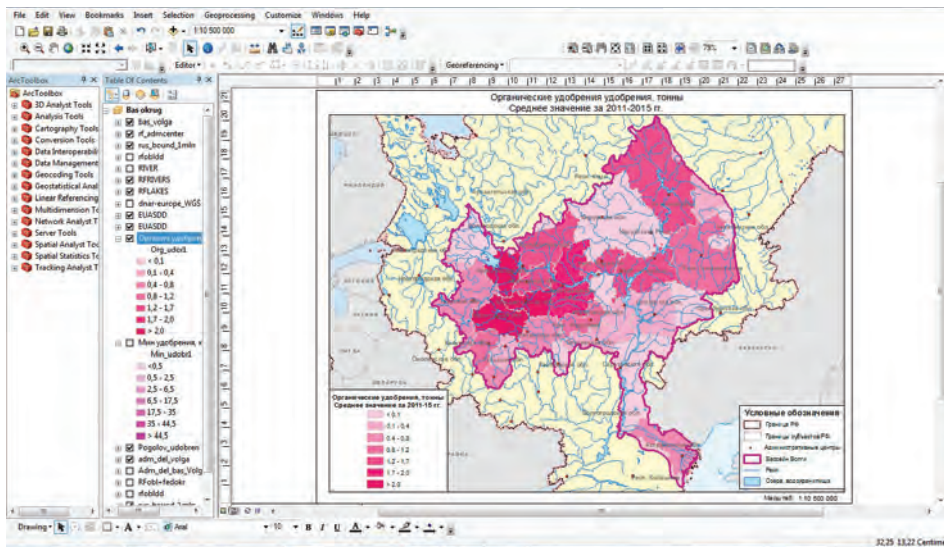


Рис. 4.4. Количество внесенных органических удобрений сельскохозяйственными организациями на 1 га посева (тонн), среднее за 2011-2015 гг.

По формулам, заложенным в матрице, были рассчитаны массы выноса взвешенных веществ, БПК₅, P-PO₄ (т/год) и доля ДЗ в суммарном загрязнении (%). Примеры карт показаны на рис. 4.5, 4.6.

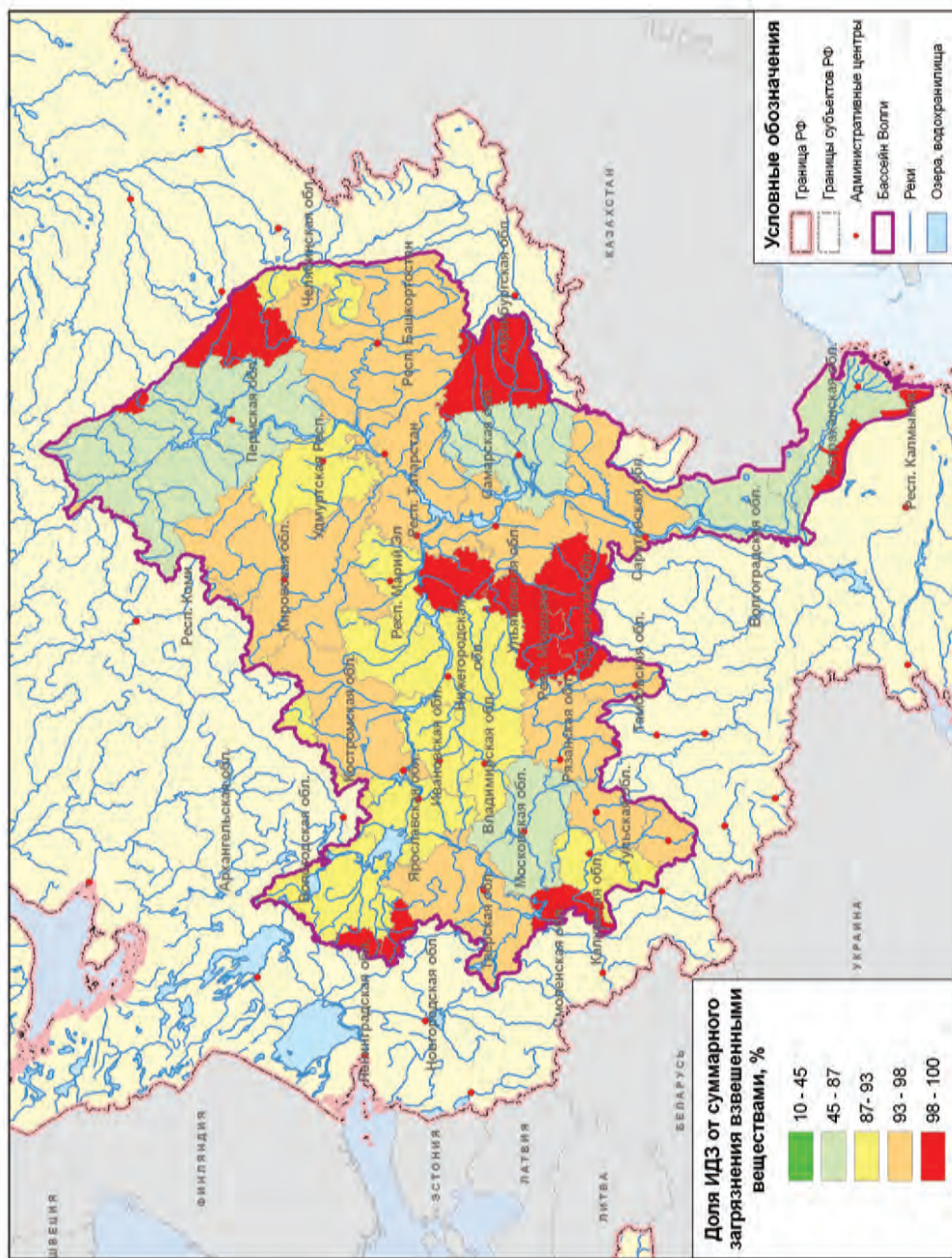


Рис. 4.6. Доля ИДЗ от суммарного загрязнения взвешенными веществами, %

Для ГИС субрегионального уровня, т.е. для каждого пилотного водного объекта, были подготовлены следующие данные:

Основные задачи формирования ГИС:

1. Общая характеристика пилотного водного объекта и его водосборной территории:

- физико-географические характеристики (карты рельефа, почв, типа землепользования и пр.);
- размещение пунктов государственного мониторинга;
- гидрохимические характеристики.

2. Характеристики ИДЗ:

- сельское хозяйство (например, поголовье скота, характеристики внесения удобрений, площади пашни и пр.);
- селитебные территории (например, численность населения, нагрузка от автотранспорта и пр.);
- промышленные площадки/территории (например, площади промплощадок, концентрации ЗВ в смыве и пр.).

3. Расчетные данные ДЗ (например, данные по выносу биогенных элементов с сельскохозяйственных угодий и пр.).

Ниже представлены примеры слоев ГИС для некоторых пилотных водных объектов.

Для реализации алгоритма ландшафтно–гидрологического метода на примере водосборов малых рек (Кудьмы, Линды и Узолы) бассейна Чебоксарского водохранилища учитывается вынос биогенных элементов поверхностным и грунтовым стоком, со стоком верховодки, с учетом основных параметров антропогенной нагрузки сельскохозяйственных территорий и малых населенных пунктов.

Примеры ГИС приведены на *рис. 4.7–4.12*.

Тематические слои для водосборов некоторых рек Куйбышевского водохранилища (Свияги, Казанки, Мёши, Большого Черемшана) созданы на основе электронных архивов и баз данных, необходимых для расчета биогенного стока от ИДЗ. Методической основой также является ландшафтный подход, учитывающий особенности рельефа рассматриваемой территории, структуру ландшафта, климатические особенности. К обоснованию антропогенной биогенной нагрузки разработаны слои с районированием водосборов по поголовью разных пород в животноводстве, количеству и дозам вносимых удобрений. Относительно точечных источников загрязнения проведено картирование и районирование всех

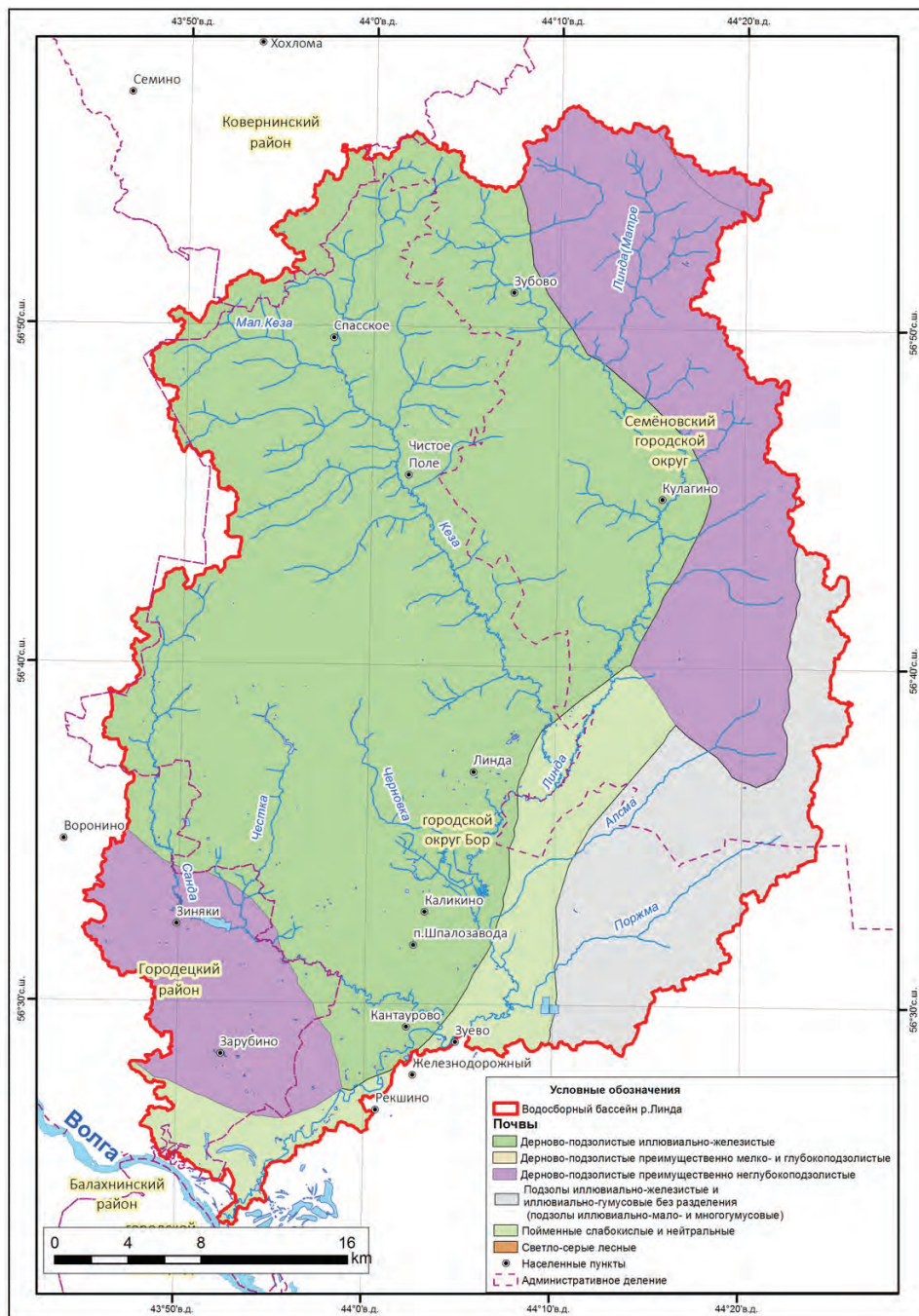


Рис. 4.7. Типа почв бассейна р. Линды (по материалам ИГ РАН)

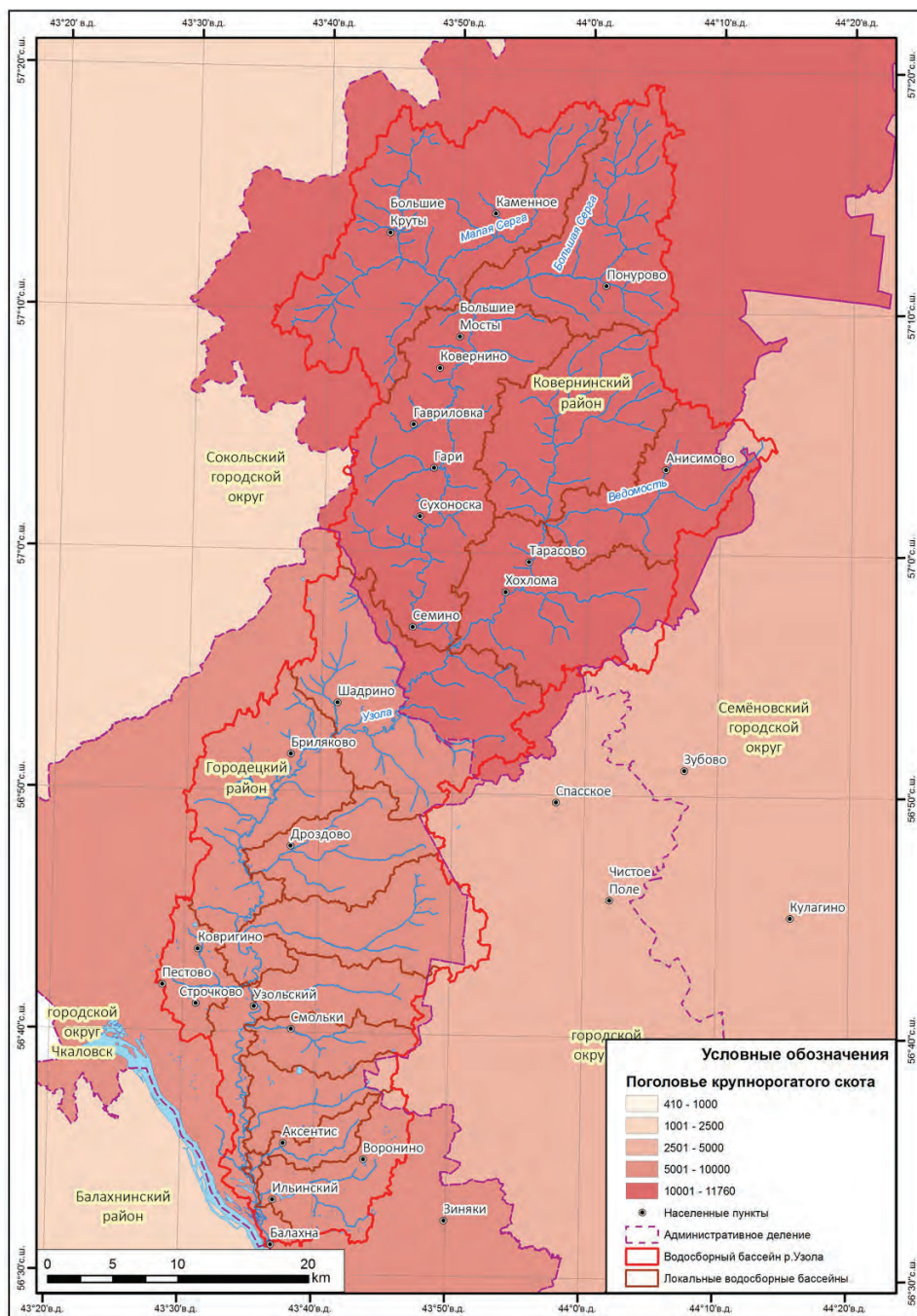


Рис. 4.8. Численность КРС по административным районам в бассейне р.Узлы, 2016 г. (по материалам ИГ РАН)

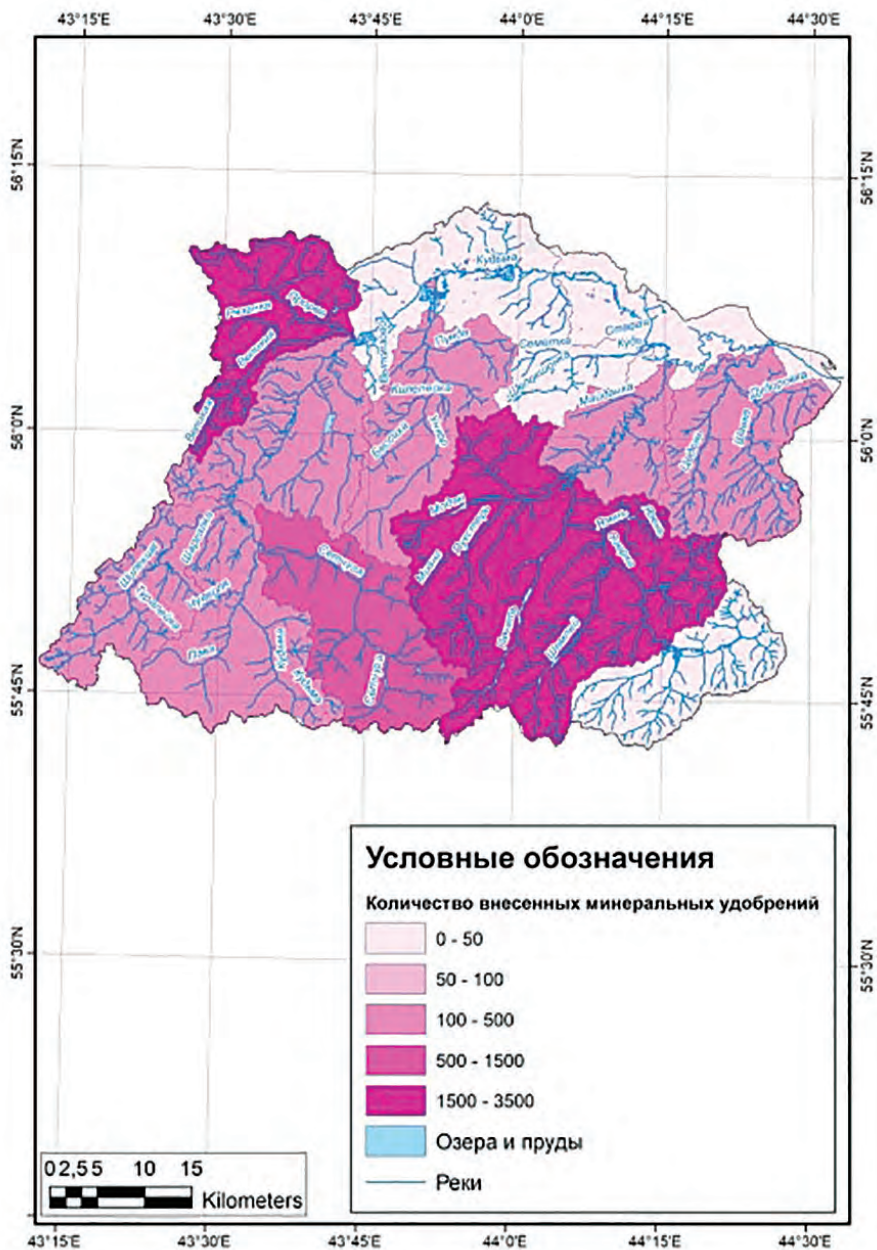


Рис. 4.9. Районирование водосбора р. Кудьмы по количеству внесенных минеральных удобрений (по материалам ИГ РАН)

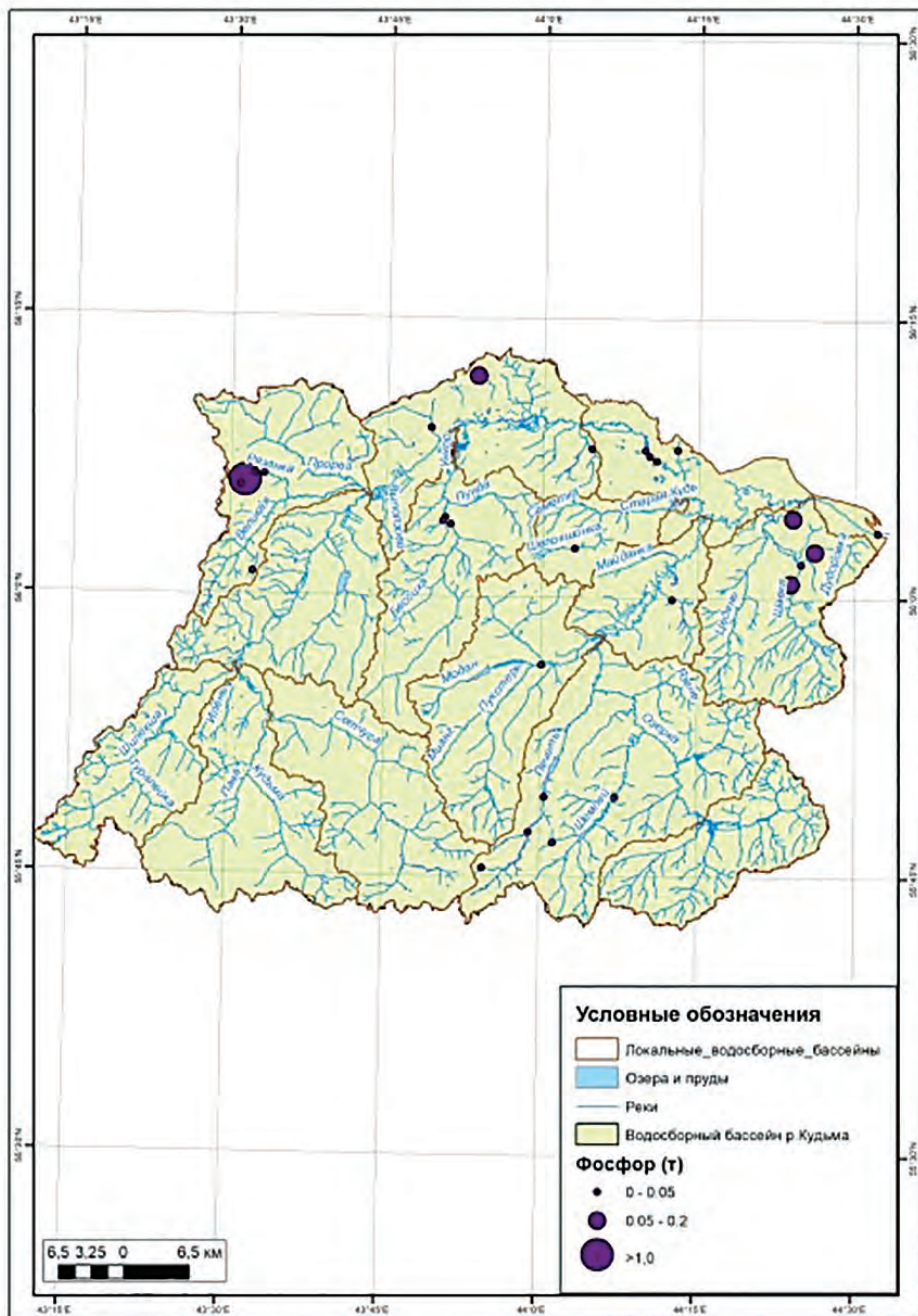


Рис. 4.10. Районирование водосбора р. Кудымы по массе сброса фосфора от точечных источников загрязнения (по материалам ИГ РАН)

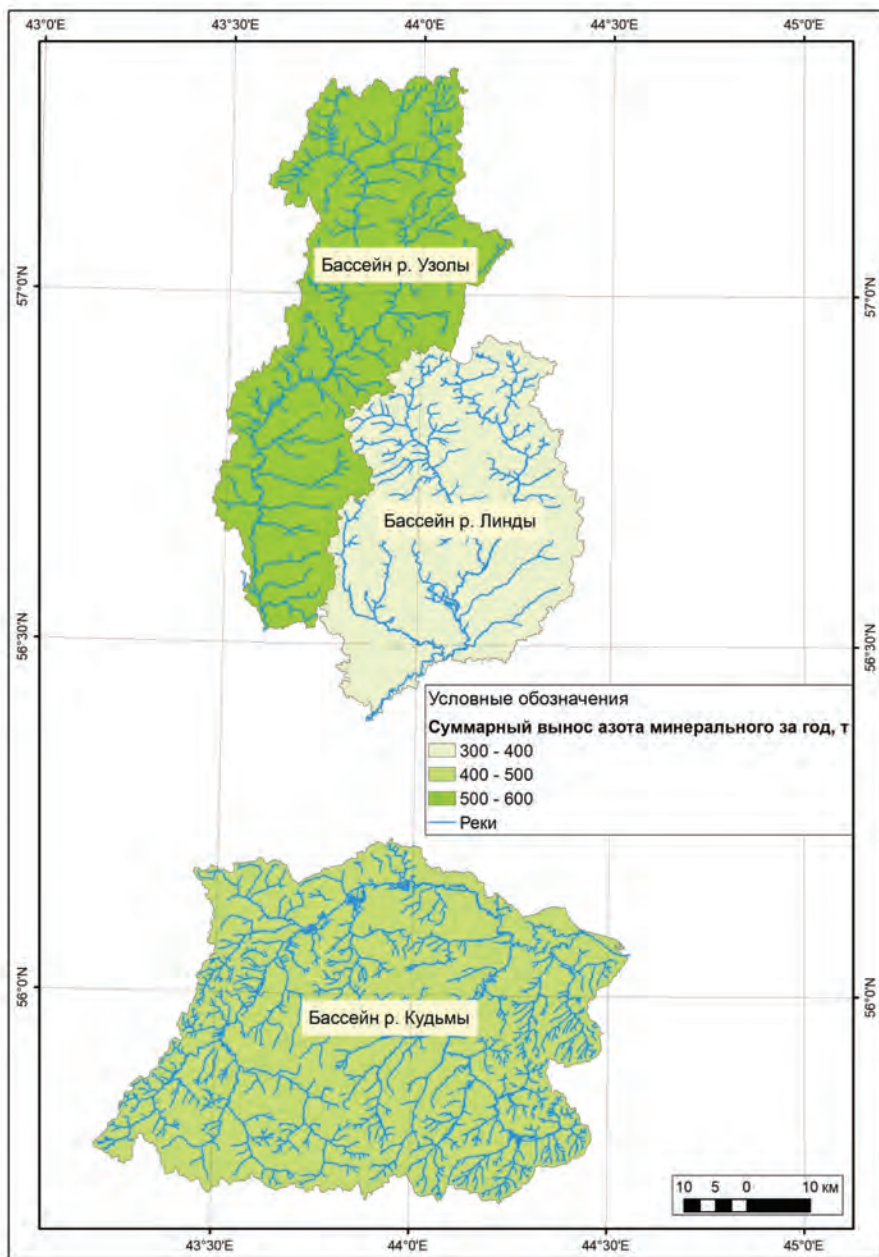


Рис. 4.11. Вынос минерального азота за год с территорий пилотных водосборов рек Кудьмы, Линды и Узолы, т/год (по материалам ИГ РАН)

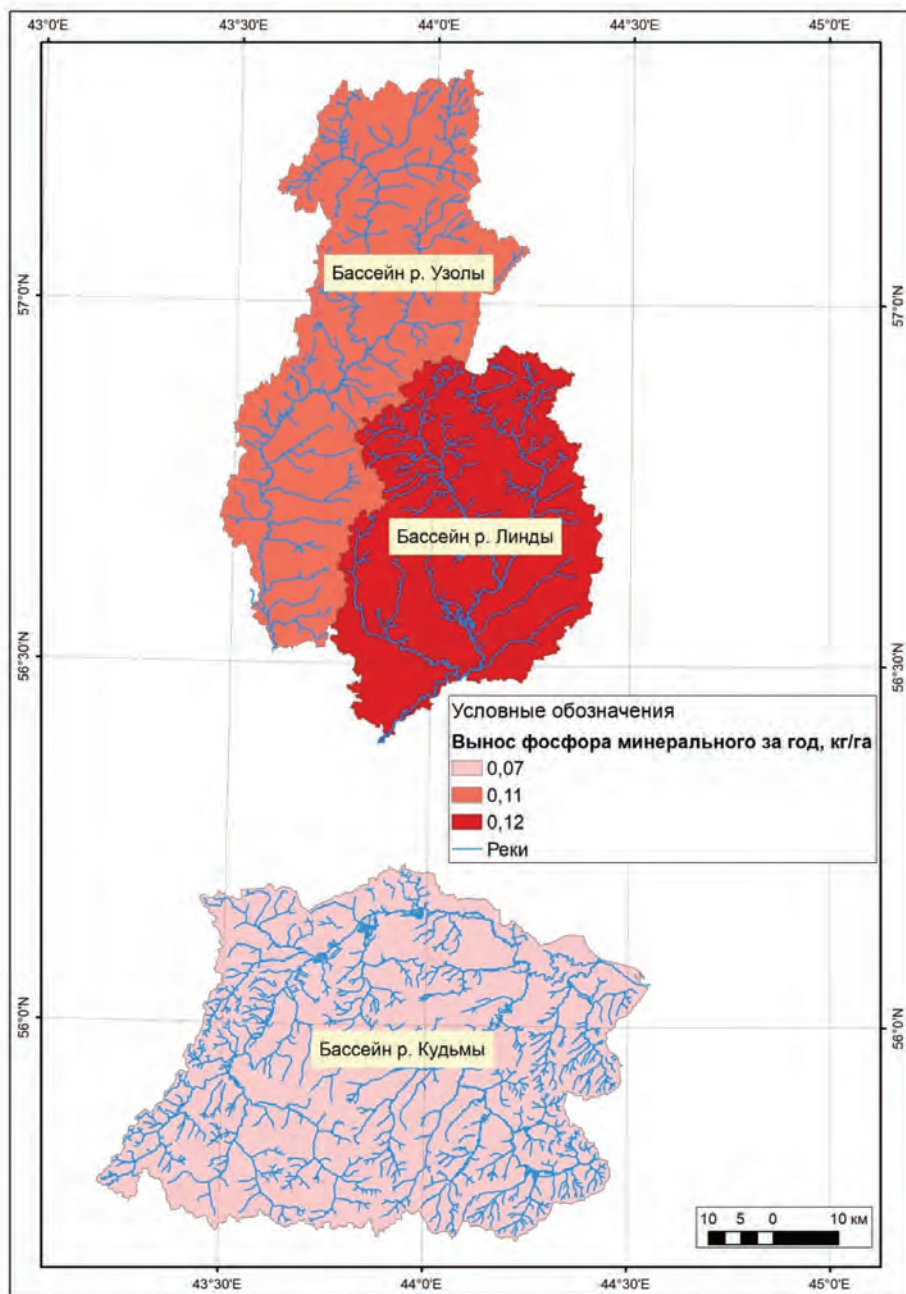


Рис. 4.12. Удельный вынос минерального фосфора за год с территорий пилотных водосборов Кудьмы, Линды и Узолы, кг/га (по материалам ИГ РАН)

выпусков сточных вод с отметкой интенсивности годового поступления азота и фосфора в гидрографическую сеть.

Примеры ГИС представлены на рис. 4.13–4.18.

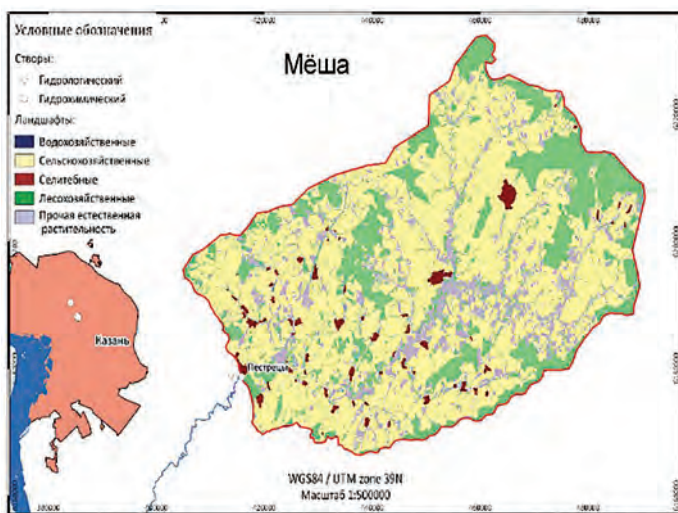


Рис. 4.13. Ландшафтная структура водосбора р. Мёша (по материалам ИНОЗ РАН)

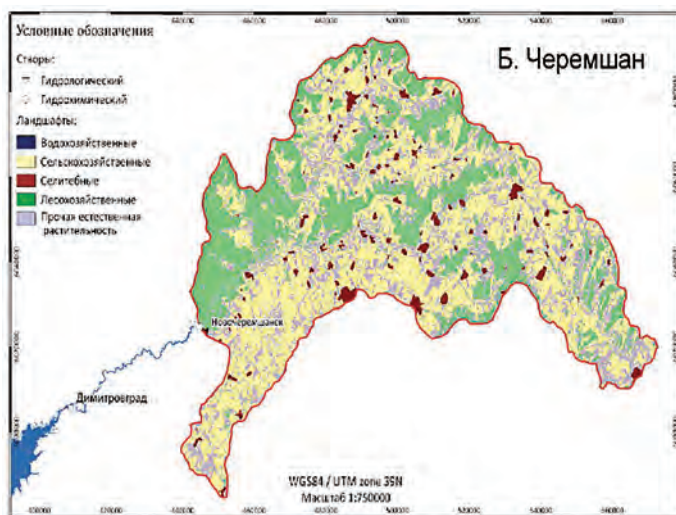
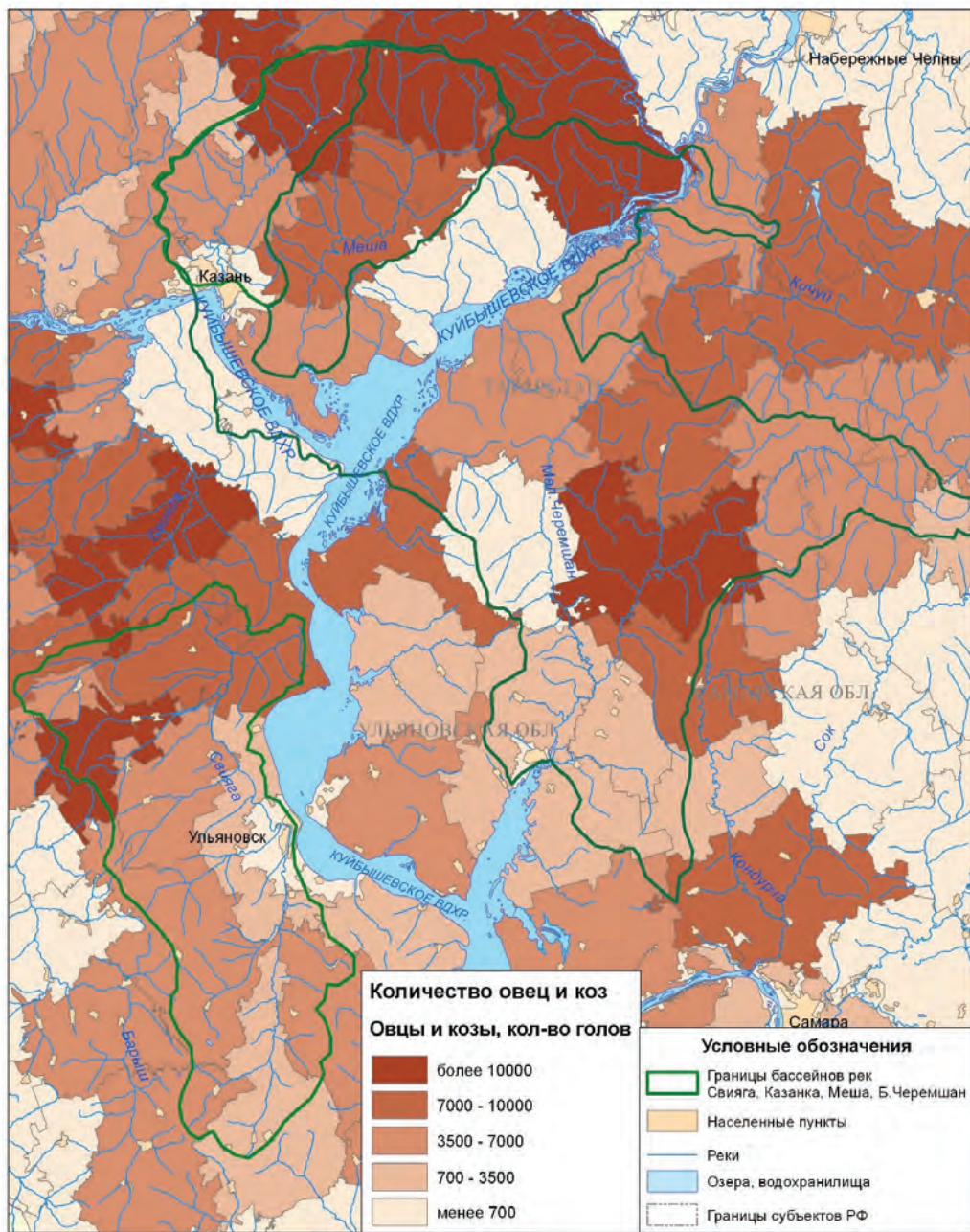
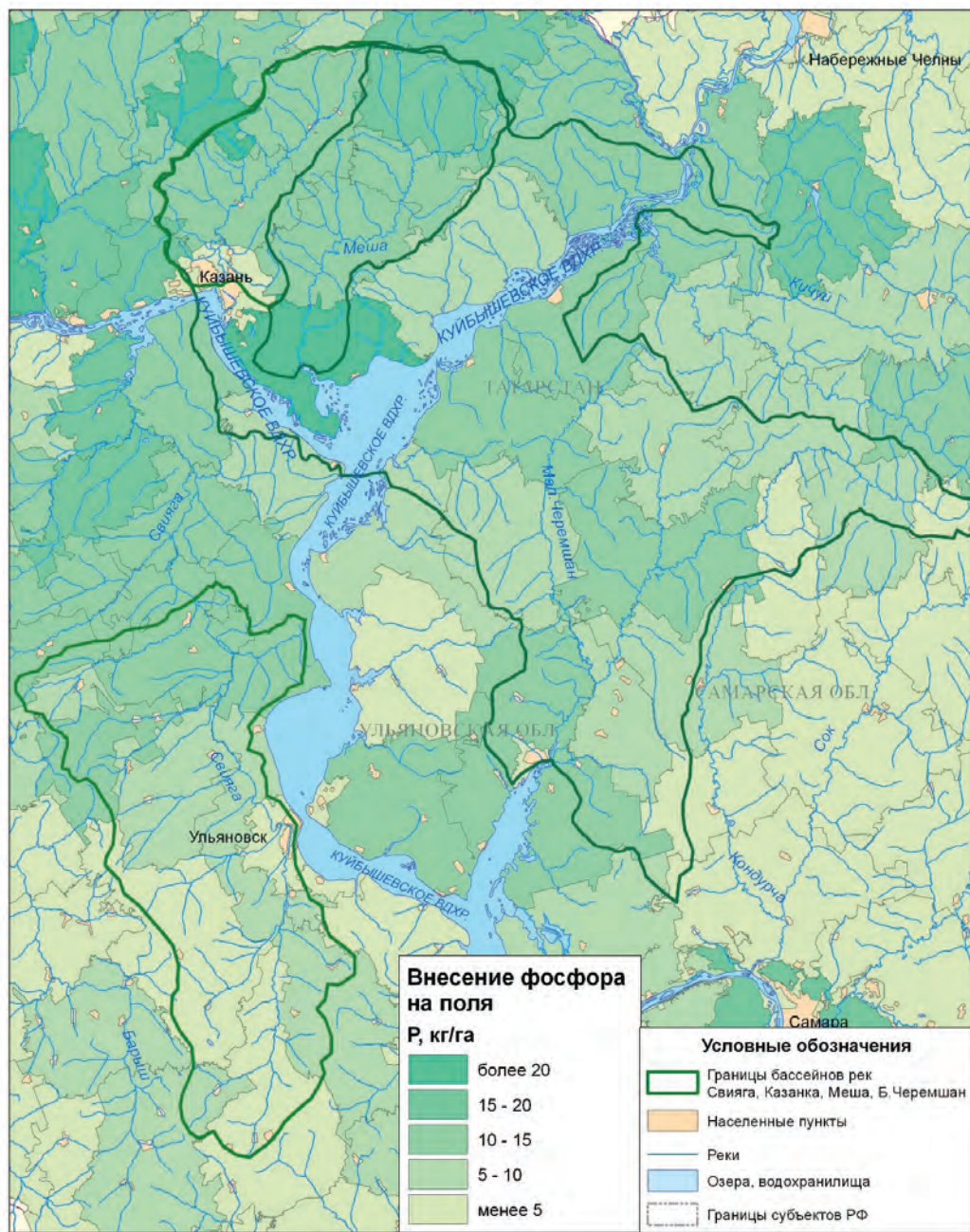


Рис. 4.14. Ландшафтная структура водосбора р. Б. Черемшан (по материалам ИНОЗ РАН)



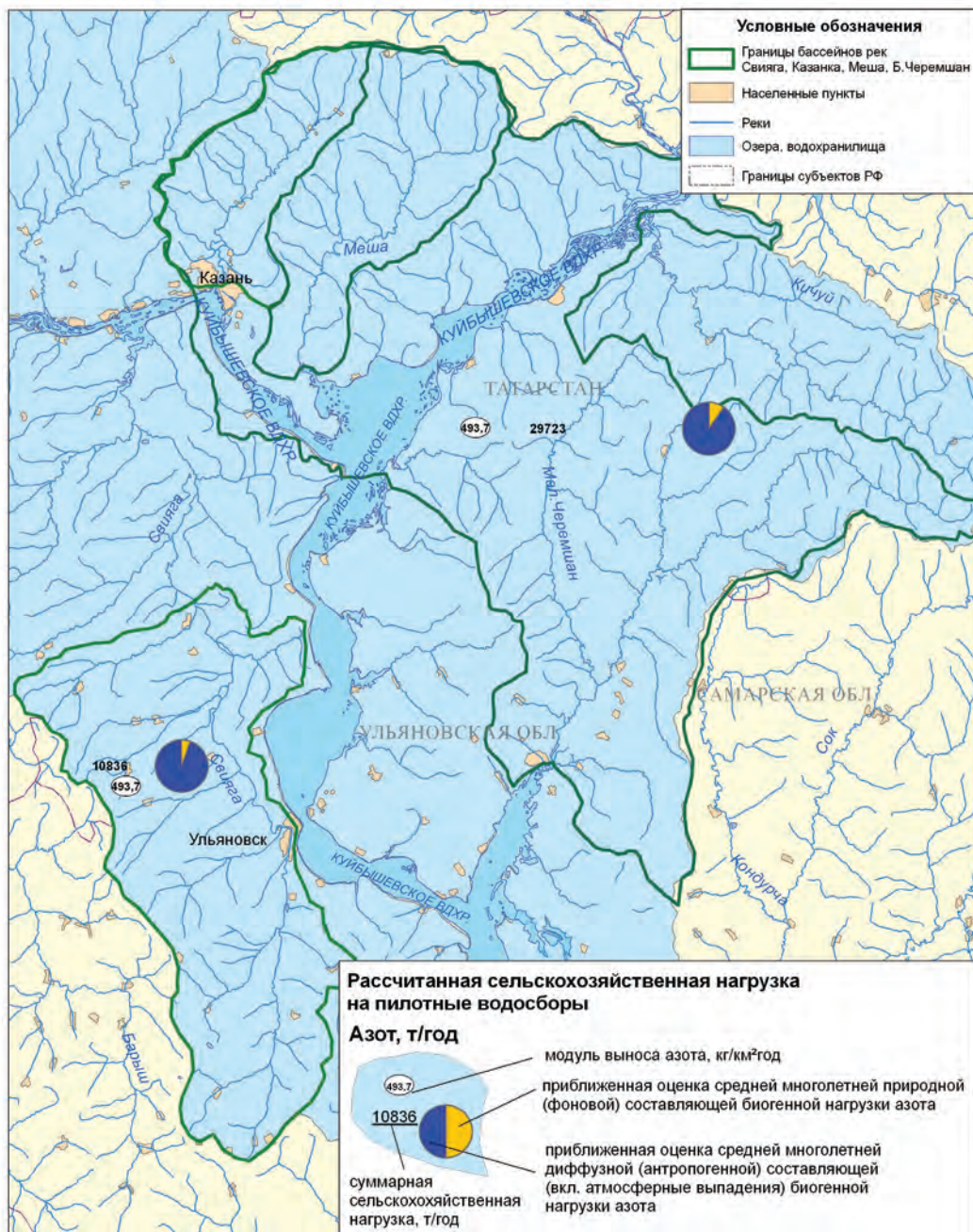
Масштаб 1:1 460 000

Рис. 4.15. Районирование пилотных водосборов по численности поголовья коз и овец (голов) (по материалам ИНОЗ РАН)



Масштаб 1:1 460 000

Рис. 4.16. Дозы внесения фосфора на сельскохозяйственные поля пилотных водосборов (по материалам ИНОЗ РАН)



Масштаб 1:1 460 000

Рис. 4.17. Рассчитанная сельскохозяйственная нагрузка на пилотные водосборы по азоту, т/год (по материалам ИНОЗ РАН)

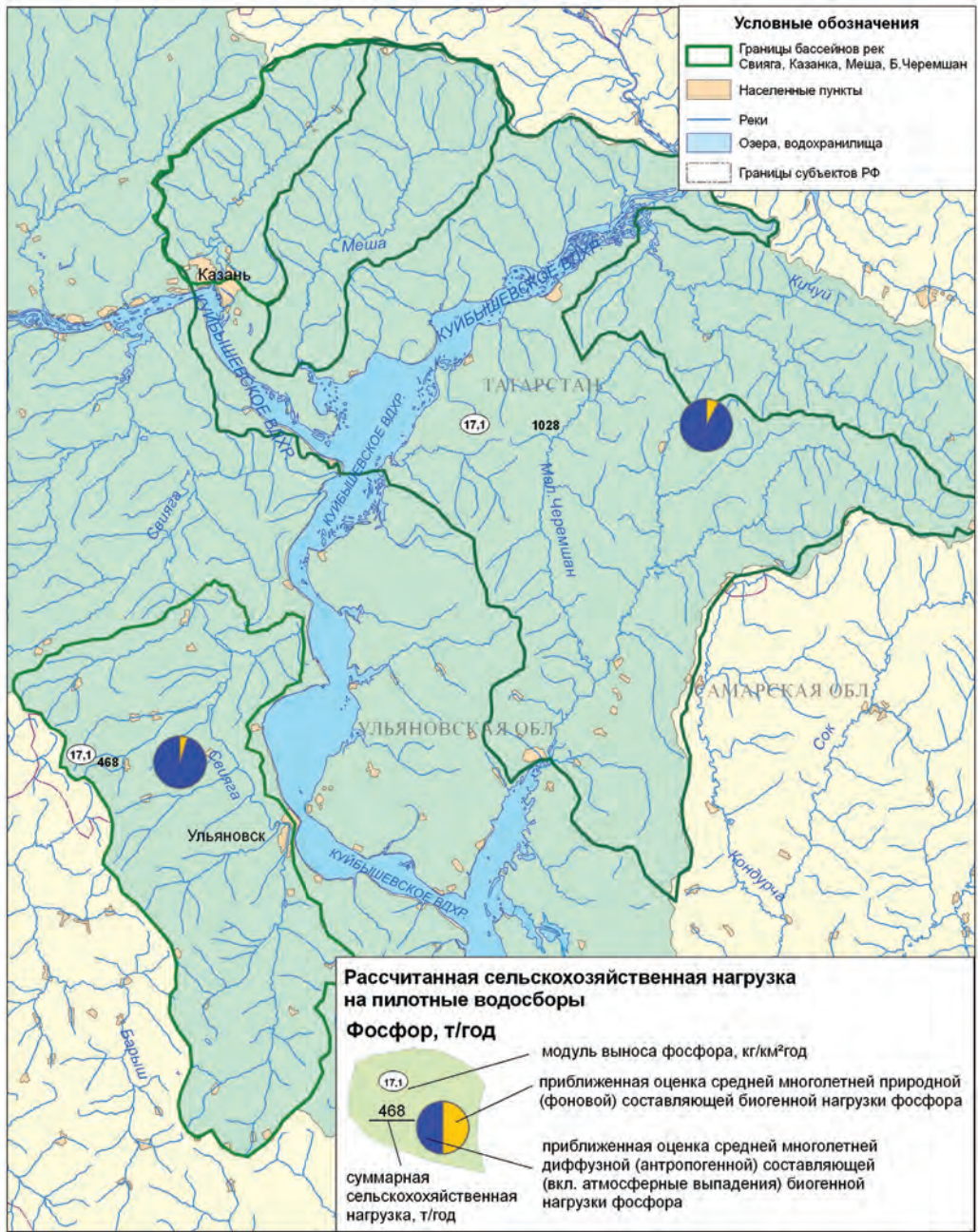


Рис. 4.18. Рассчитанная сельскохозяйственная нагрузка на пилотные водосборы по фосфору, т/год (по материалам ИНОЗ РАН)

Методическая основа специализированных ГИС для водосбора Иваньковского водохранилища сформирована на базе нескольких подходов, разработанных на базе многочисленных экспериментов на городских территориях, промышленных площадках, сельскохозяйственных угодьях. Основные расчетные методы диффузного стока: экспликационный, балансовый, идентификация.

Основой для разработки тематических слоев ГИС являются многолетние базы данных (1986–2017 гг.), включающие:

- гидрометеорологические характеристики водосбора;
- гидрохимический режим основных водотоков;
- площадные характеристики типовых фрагментов водосбора с формированием диффузного стока;
- антропогенную нагрузку, характерную для каждого типового фрагмента водосбора;
- антропогенную нагрузку от точечных источников загрязнения;
- расчетные модули выноса ЗВ (массы, отнесенные к единице площади);
- расчетную мощность диффузного стока с каждого типового фрагмента водосбора.

Примеры некоторых слоев ГИС для Иваньковского водохранилища представлены на *рис. 4.19–4.24*.

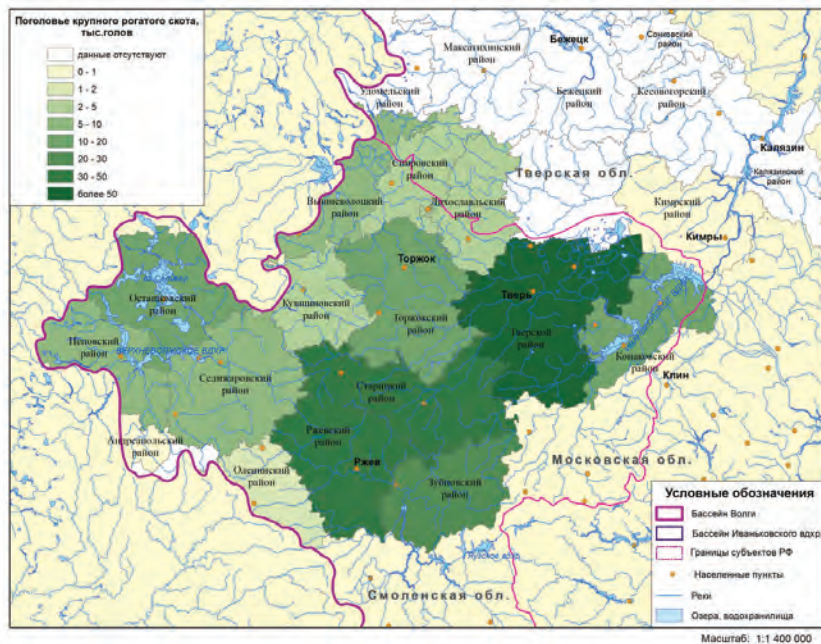


Рис. 4.19. Районирование водосбора по численности крупного рогатого скота, среднее за 2015–2017 гг. (по материалам ИВП РАН)

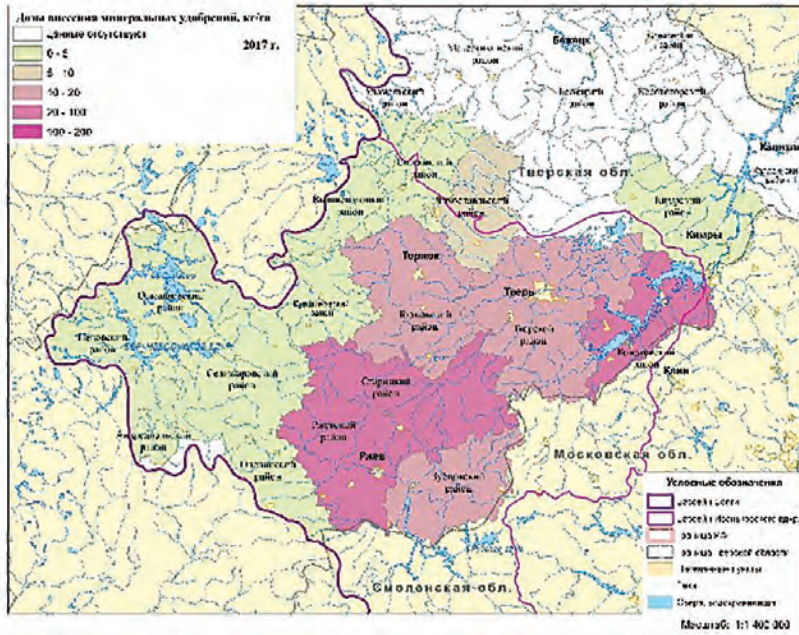


Рис. 4.20. Районирование водосбора по дозе внесенных минеральных удобрений в 2017 г., кг/га (по материалам ИВП РАН)



Рис. 4.21. Районирование водосбора по урожайности зерновых культур, отнесенной к административному району, среднее за 2015-2017 гг. (по материалам ИВП РАН)

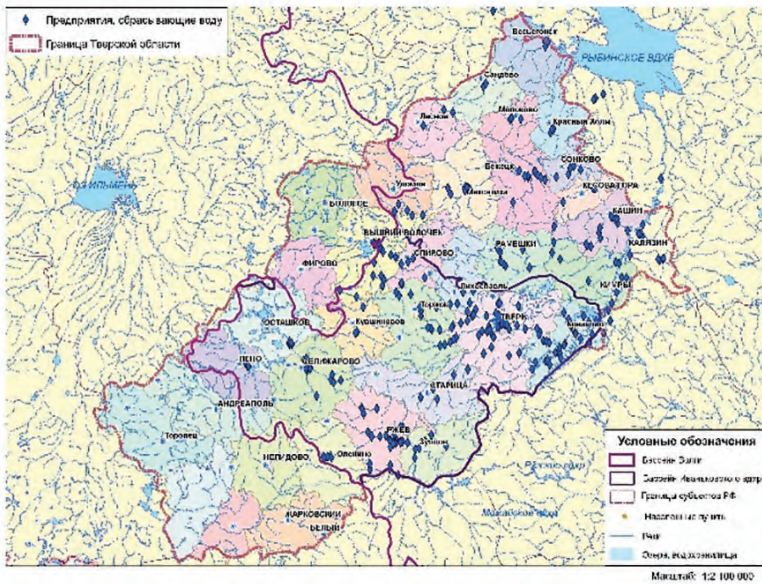


Рис. 4.22. Распределение точечных источников загрязнения на водосборе Ивановского водохранилища, 1990 г. (по материалам ИВП РАН)

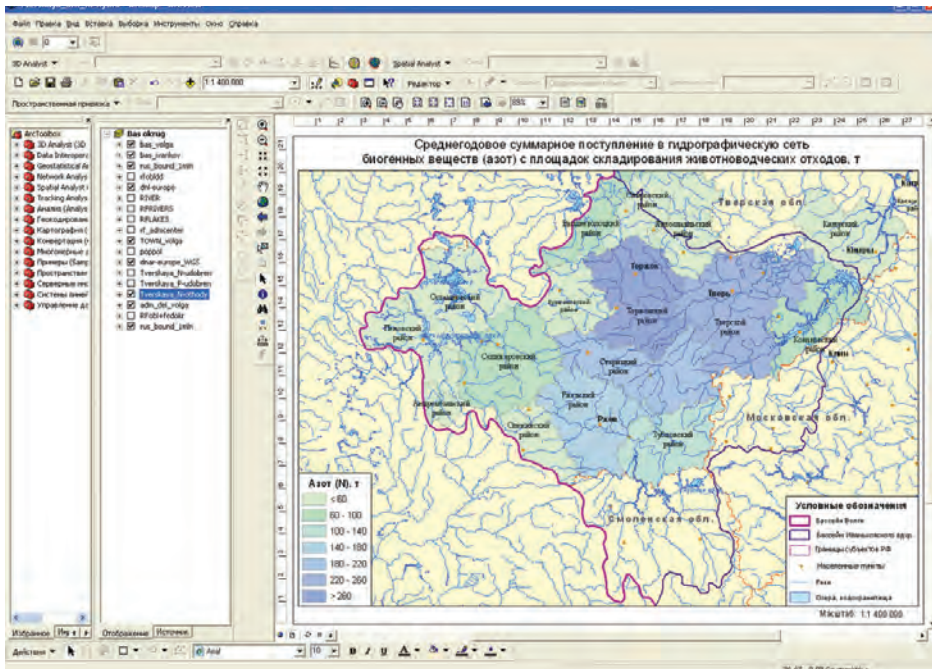


Рис. 4.23. Среднегодовое поступление азота (т/год) в гидрографическую сеть азота с площадок складирования животноводческих отходов, среднее за 1986-1988 гг. (по материалам ИВП РАН)

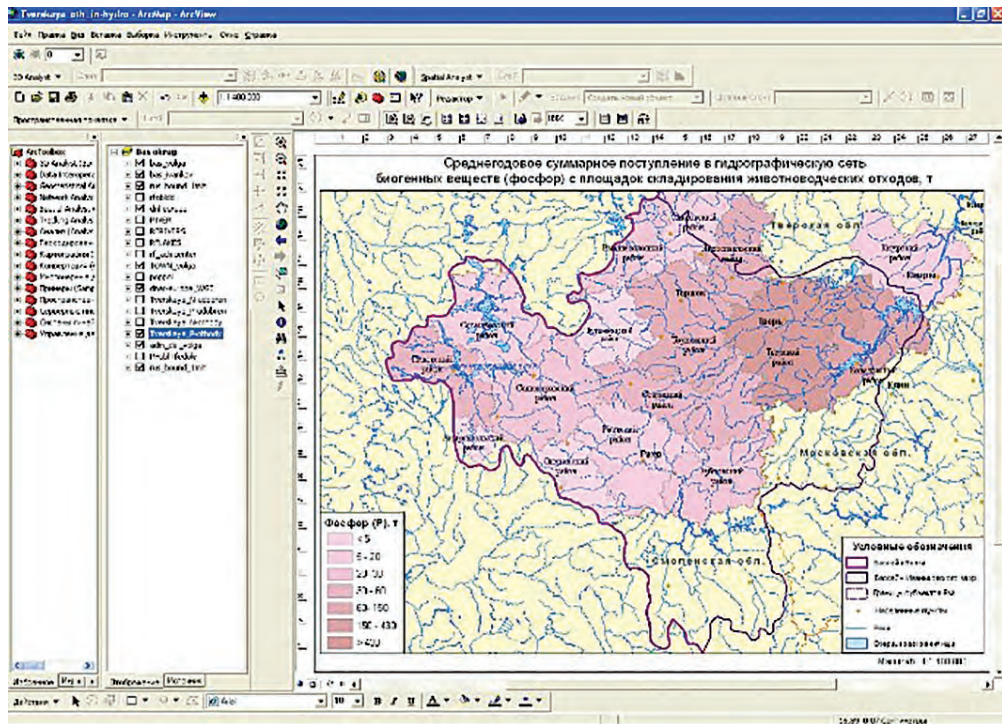


Рис. 4.24. Среднегодовое поступление фосфора (т/год) в гидрографическую сеть с площадок складирования животноводческих отходов, среднее за 1986-1988 гг. (по материалам ИВП РАН)

На основе подготовленных электронных архивов данных для пилотного водного объекта – мелиорируемой территории на водосборе р. Яхромы разработаны ГИС-слои, некоторые примеры которых приведены на рис. 4.25 – 4.29.

Примеры ГИС-слоев для пилотного водного объекта – мелиорируемой территории в бассейне р. Малый Караман представлены на рис. 4.30 – 4.32.

Для орошаемых земель Нижней Волги были разработаны тематические слои ГИС с границами ИДЗ на сельскохозяйственных землях и атрибутивными данными (общая площадь сельскохозяйственных угодий, типы почв, количество вносимых удобрений, защищенность грунтовых вод, почвообразующие породы). По границам сельских поселений на основе методов пространственного анализа определено суммарное количество поступающих ЗВ – биогенных соединений. Также приведен результат сценарного

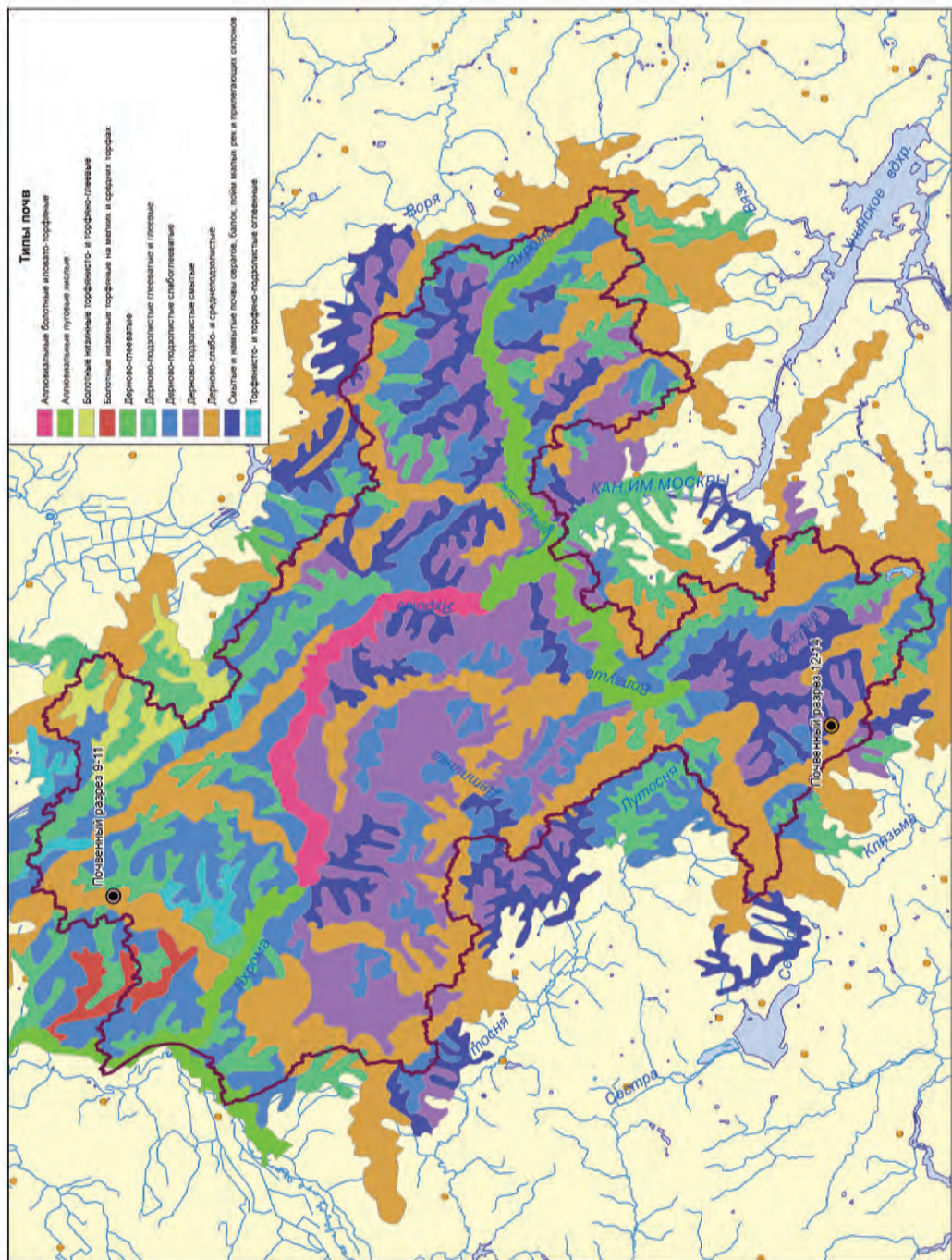


Рис. 4.25. Почвенная карта водосбора р. Яхромы (по материалам ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова)

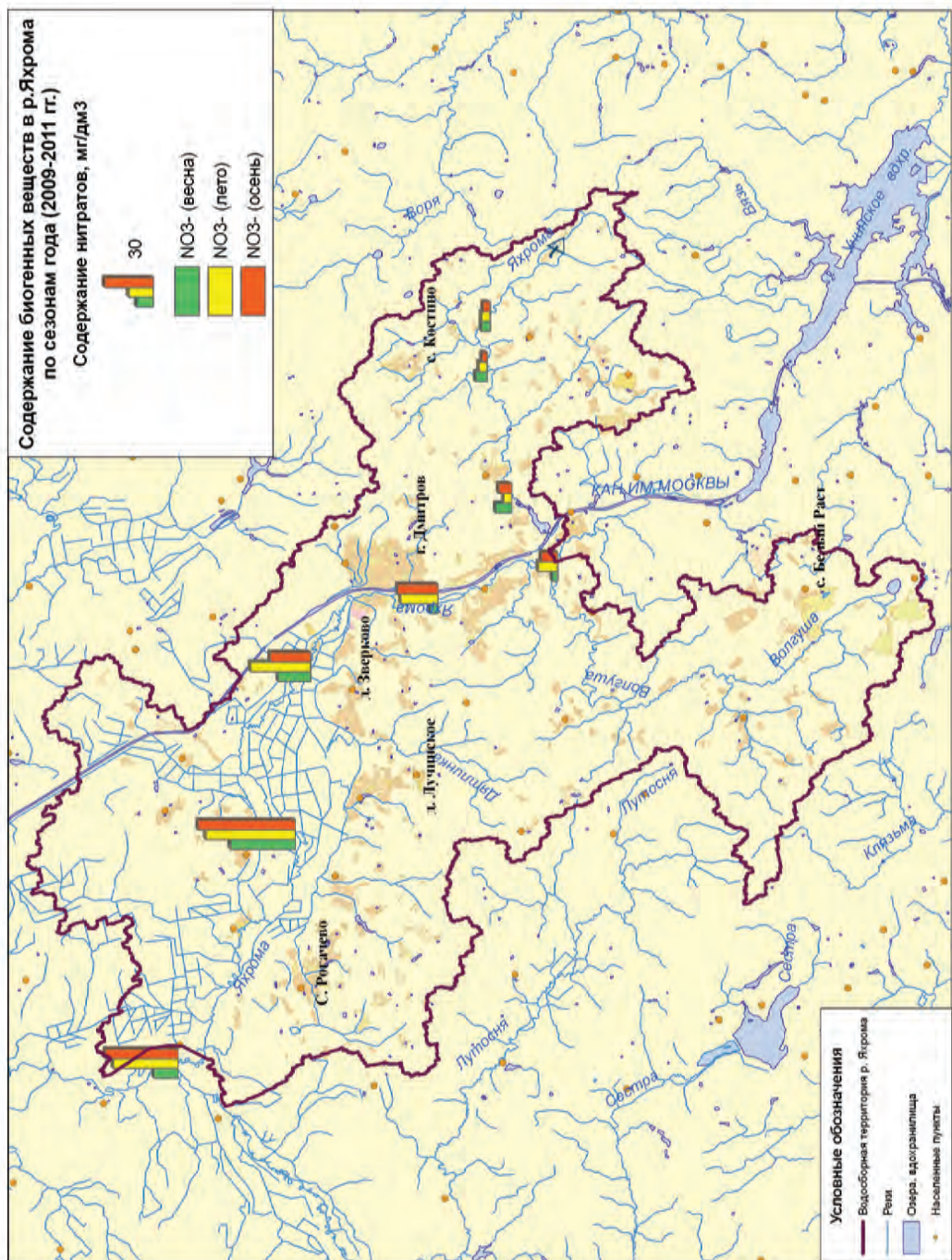


Рис. 4.27. Концентрации нитратного азота в воде р. Яхромы в различные сезоны года (среднее 2009-11 гг.), мг/дм³ (по материалам ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова)

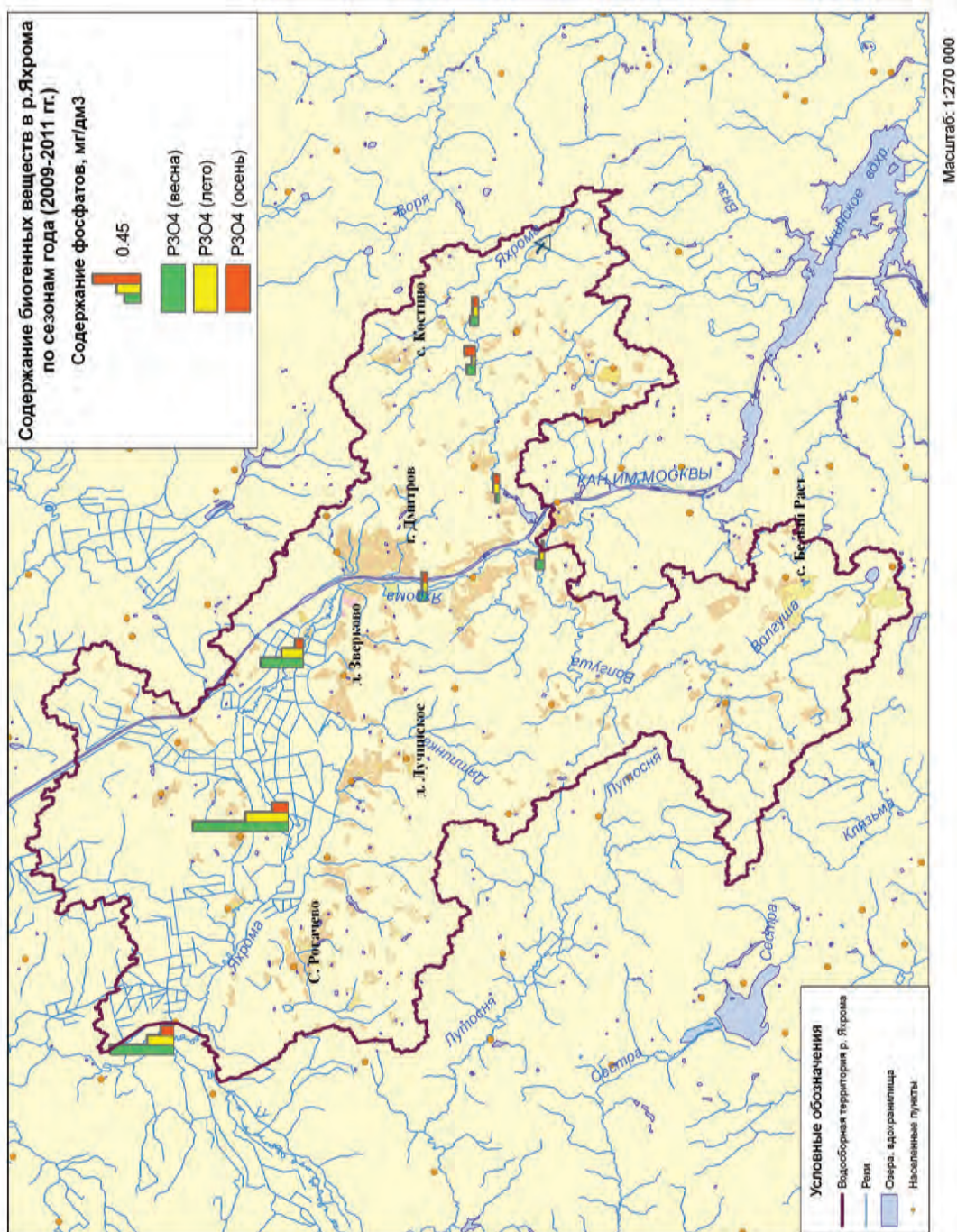


Рис. 4.28. Концентрации фосфатов в воде р. Яхромы в различные сезоны года, (среднее 2009-2011 гг.), мг/дм³ (по материалам ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова)

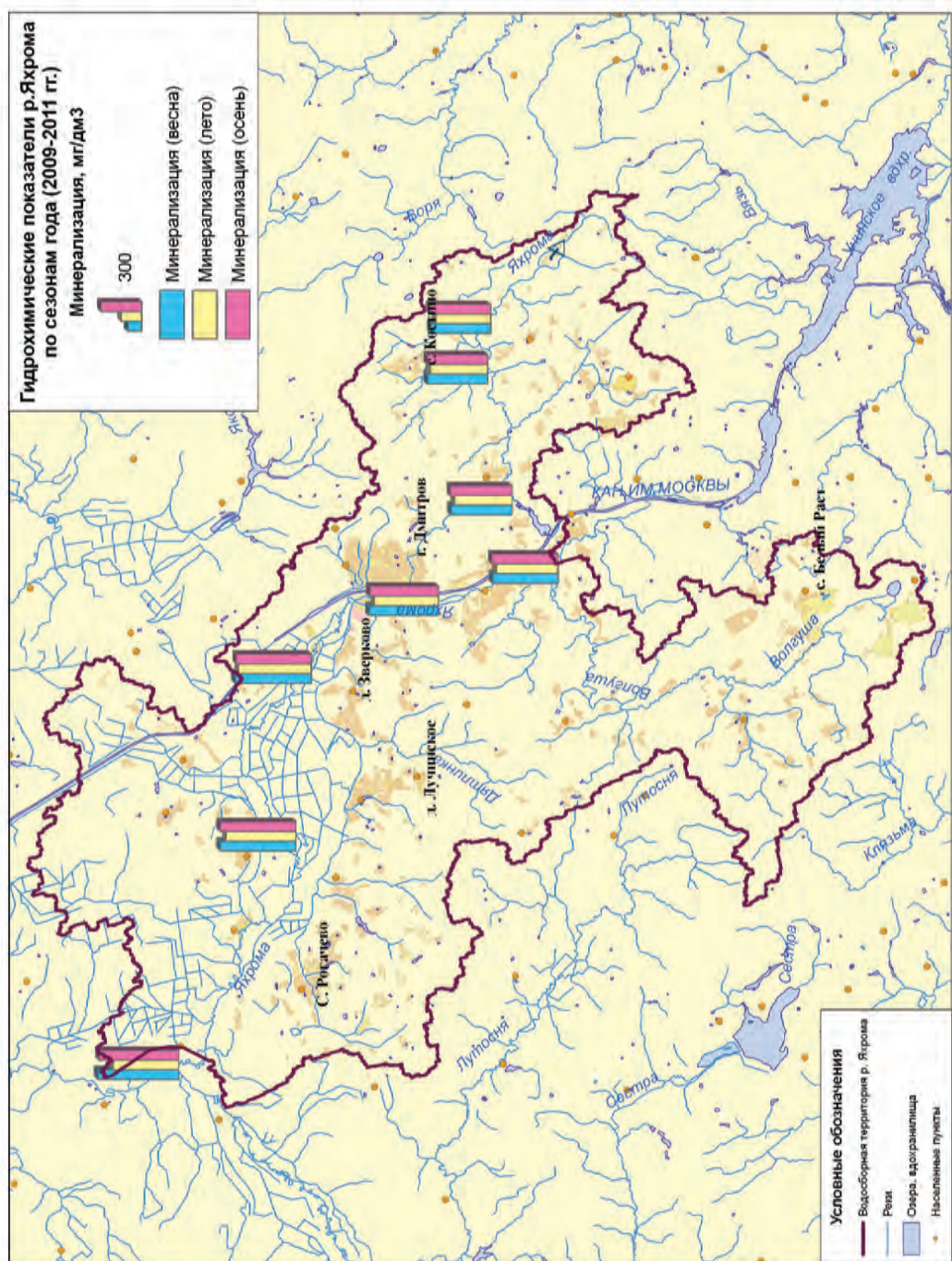


Рис. 4.29. Минерализация воды р. Яхромы в различные сезоны года, (среднее 2009-11 гг.), мг/дм³ (по материалам ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова)

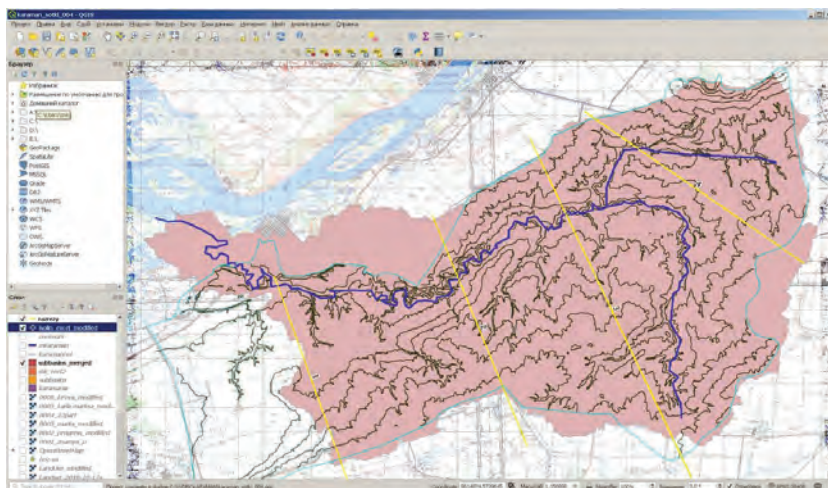


Рис. 4.30. Модель рельефа участка водосбора р. Малый Караман (по материалам ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова)

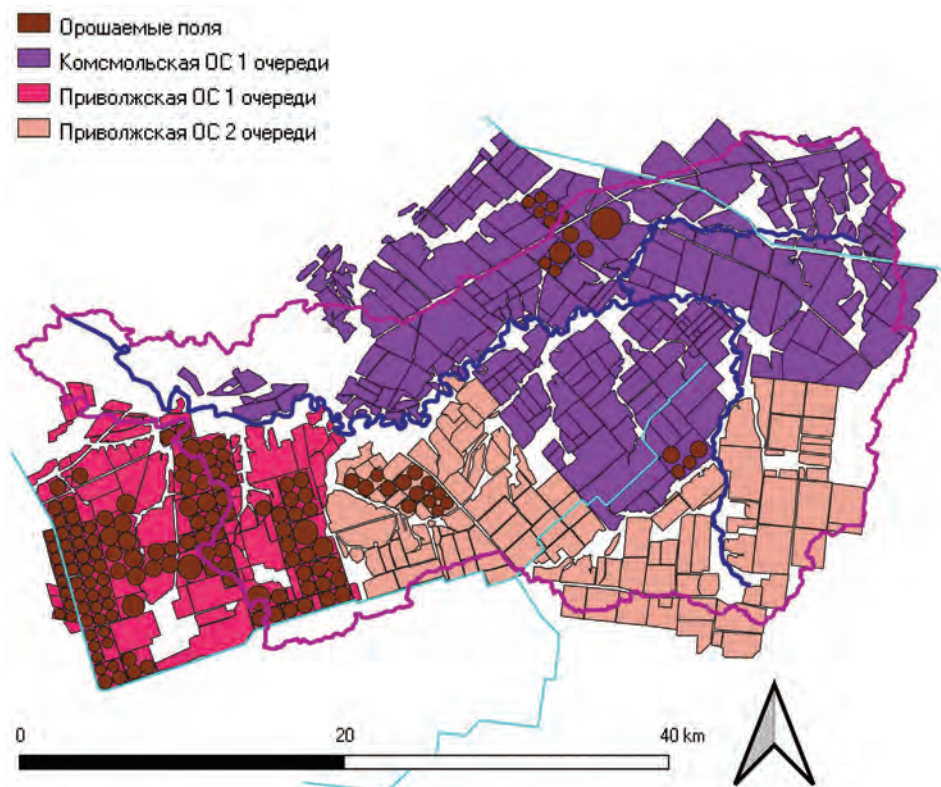


Рис. 4.31. Оросительные системы участка водосбора р. Малый Караман, 2019 г. (по материалам ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова)



Рис. 4.32. Сценарии расчетов диффузного загрязнения в бассейне р. Малый Караман (по материалам ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова)

Сценарий 1
орошаемая площадь - 4 801,3 га
животноводство - 436,3 га

Сценарий 2
орошаемая площадь - 42 410,3 га
животноводство - 1979,6 га

расчета – увеличение площади орошаемых земель в междуречье Волги и Ахтубы, что повлечет за собой увеличение поступления биогенных элементов в водные объекты Нижней Волги.

На рис. 4.33 – 4.35 приведены некоторые примеры.

4.2 ПРОТОТИП ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПИЛОТНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В БАССЕЙНЕ ВОЛГИ

Одним из результатов работы стало создание прототипа экспертной системы (ЭС) поддержки принятия решений (ППР) по оптимизации мероприятий, направленных на охрану пилотных водных объектов от ДЗ. Подробнее о пилотных водных объектах см. в гл. 2.

Разработанный прототип ЭС ППР по оптимизации мероприятий, направленных на охрану пилотных водных объектов от ДЗ в бассейне р. Волги, основан на специализированных ГИС, содержащих тематические слои по пилотным водным объектам и их водосборам (раздел 4.1).

4.2.1 Описание прототипа экспертной системы

В общем смысле под ЭС понимается аналитическая программная среда, посредством которой специалисты в определенной предметной области оперируют знаниями с целью выработки рекомендаций или решения про-

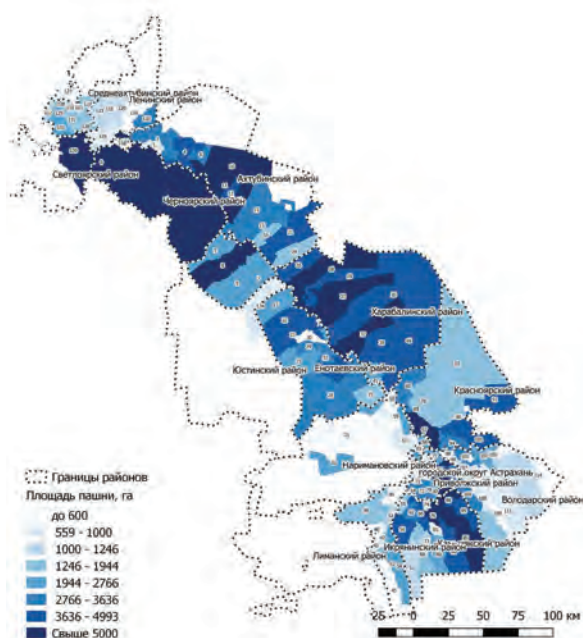


Рис. 4.33. Площадь пашни в границах муниципальных образований, га, 2018 г.
(по материалам ФНЦ агроэкологии РАН)

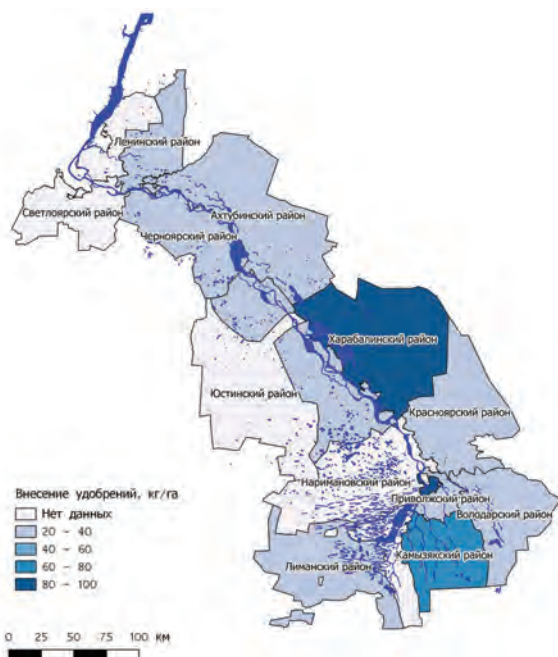


Рис. 4.34. Дозы внесения минеральных удобрений, кг/га, 2018 г.
(по материалам ФНЦ агроэкологии РАН)

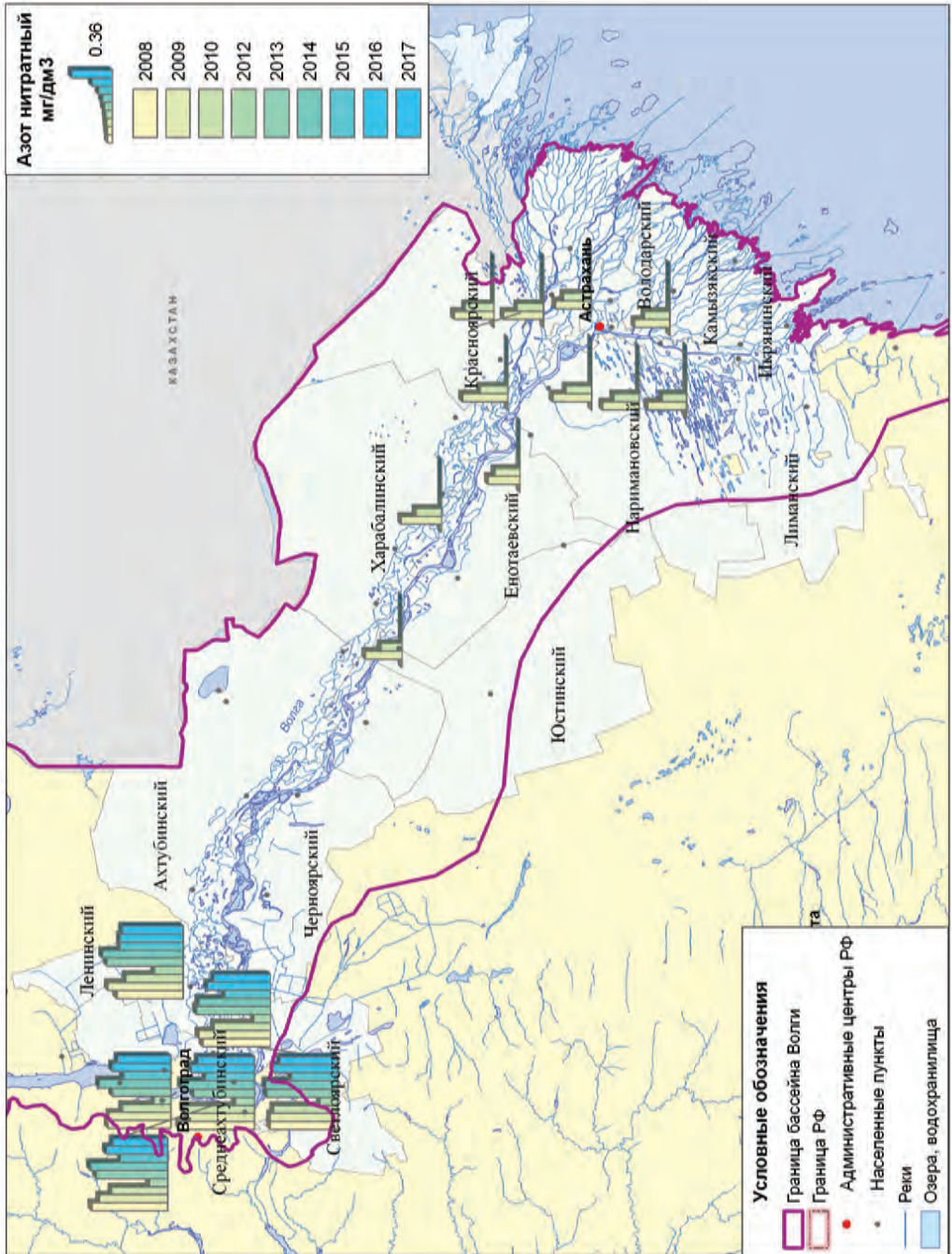


Рис. 4.35. Среднегодовая концентрация нитратного азота (мг/дм³) в створах Нижней Волги за период 2008-17 гг. (по материалам ФНЦ агроэкологии РАН)

блем [Джексон, 2001]. ЭС моделируют знания экспертов в достаточно узких и четко определенных предметных областях. Эта означает, что ЭС, разработанная для принятия решений в одной предметной области, не может применяться в другой предметной области: требуется переработка последовательности операций, изменения базы знаний и т.д. ЭС ППР ориентированы на автоматизацию процедур анализа проблемных ситуаций и выбора наиболее эффективных решений. К функциональным возможностям таких систем, в частности, относятся [Кравченко, 2010]:

- проведение расчетов для обоснования альтернатив на основе различных математических методов и моделей с использованием экспертных оценок специалистов;
- обеспечение возможности моделирования проблемных ситуаций и принятия решений в условиях неопределенности и риска;
- формирование и поддержка баз данных и знаний, необходимых для описания и выбора задач, моделей и методов принятия решений, проведения расчетов и формирования отчетных материалов;
- обеспечение коллегиальности в принятии решений и обоснование вариантов решений на основе консолидации мнений экспертов;
- осуществление процедуры поиска метода принятия решения путем выбора пользователем ответа (из предлагаемого набора) на вопросы, задаваемые системой, об элементах задачи принятия решения;
- предоставление доступа конечным пользователям к системе с применением технологии «тонкий клиент» (через интернет-браузер и веб-сервер).

Следует отметить, что разработанный прототип ЭС для пилотных водных объектов в бассейне р. Волги включает некоторые приведенные выше особенности ЭС ППР, однако на данном этапе представляет собой более простую систему, не подразумевающую проведение расчетов по предложенным методикам, а позволяющую познакомить пользователей (лиц, принимающих решения) с результатами расчетов по заданным параметрам, отражающим текущую ситуацию на территории пилотных водных объектов в бассейне р. Волги.

Разработанный прототип ЭС ППР выполнен в виде интернет-сайта, что обеспечивает удобство работы конечных пользователей системы, а также более тесное взаимодействие экспертов и экспертных организаций, дополняющих и корректирующих имеющуюся базу знаний.

Реализация блок-схемы прототипа ЭС выполнена на языке HTML (HyperText Markup Language) – языке разметки гипертекста, используемом для создания Web-страниц. Язык HTML интерпретируется программой, предназначенной для просмотра веб-сайтов (браузером) и отображается в виде документа в удобной для человека форме. Разработка велась в интеллектуальной среде Adobe DreamViewer с применением формального языка описания внешнего вида документа, написанного с использованием языка каскадных таблиц стилей разметки CSS (Cascading Style Sheets). Для при-

дания интерактивного функционала создаваемым веб-страницам при разработке также использовался язык сценариев JavaScript.

В результате разработки для каждого пилотного водосбора созданы единые шаблоны интернет-страниц, в которых отображается как текстовая, так и графическая информация. Шаблоны содержат заголовок рассматриваемого объекта и единую форму главного меню комплекса, выполненную согласно разделам блок-схемы, что обеспечивает интуитивно понятную и удобную навигацию по сайту в целом. Наполнение конкретными данными подобных шаблонов осуществляется только экспертными организациями (организациями-исполнителями по проекту), что означает наличие в базе знаний системы наиболее полной и актуальной информации.

4.2.2 Структура и наполнение прототипа экспертной системы

Разработанный прототип ЭС ППР состоит из пяти блоков [Козлова и др., 2020]:

1. «Характеристика объекта и его водосбора».
2. «Источники загрязнения вод».
3. «Расчетные оценки диффузного загрязнения».
4. «Водоохранные мероприятия».
5. «Эффективность водоохранных мероприятий».

Блок 1 «Характеристика объекта и его водосбора» включает следующие разделы:

1.1 *Общее описание объекта* содержит информацию о расположении водного объекта в бассейне Волги, гидрографию, основные данные о хозяйственной освоенности водосбора и типах землепользования, обзорную карту, фотографии.

1.2 *Физико-географические характеристики* – представлены карты почв, рельефа, гидрогеологические разрезы, карты типов ландшафтов и землепользования и др. (рис. 4.36).

1.3 *Пункты государственного мониторинга* – приведены перечень и карты размещения метеостанций и гидропостов (рис. 4.37).

1.4 *Гидрометеорологические характеристики* – приводится обзор среднегодовых или многолетних метеорологических и гидрологических показателей, например, осадков, температуры, влажности воздуха, расходов воды и др. (рис. 4.38).

1.5 *Гидрохимические характеристики* – представлена информация о химическом составе (содержание нитритов, нитратов, фосфатов, минерализация и пр.) воды пилотных водных объектов по данным государственного мониторинга, экспедиционных исследований (рис. 4.39).

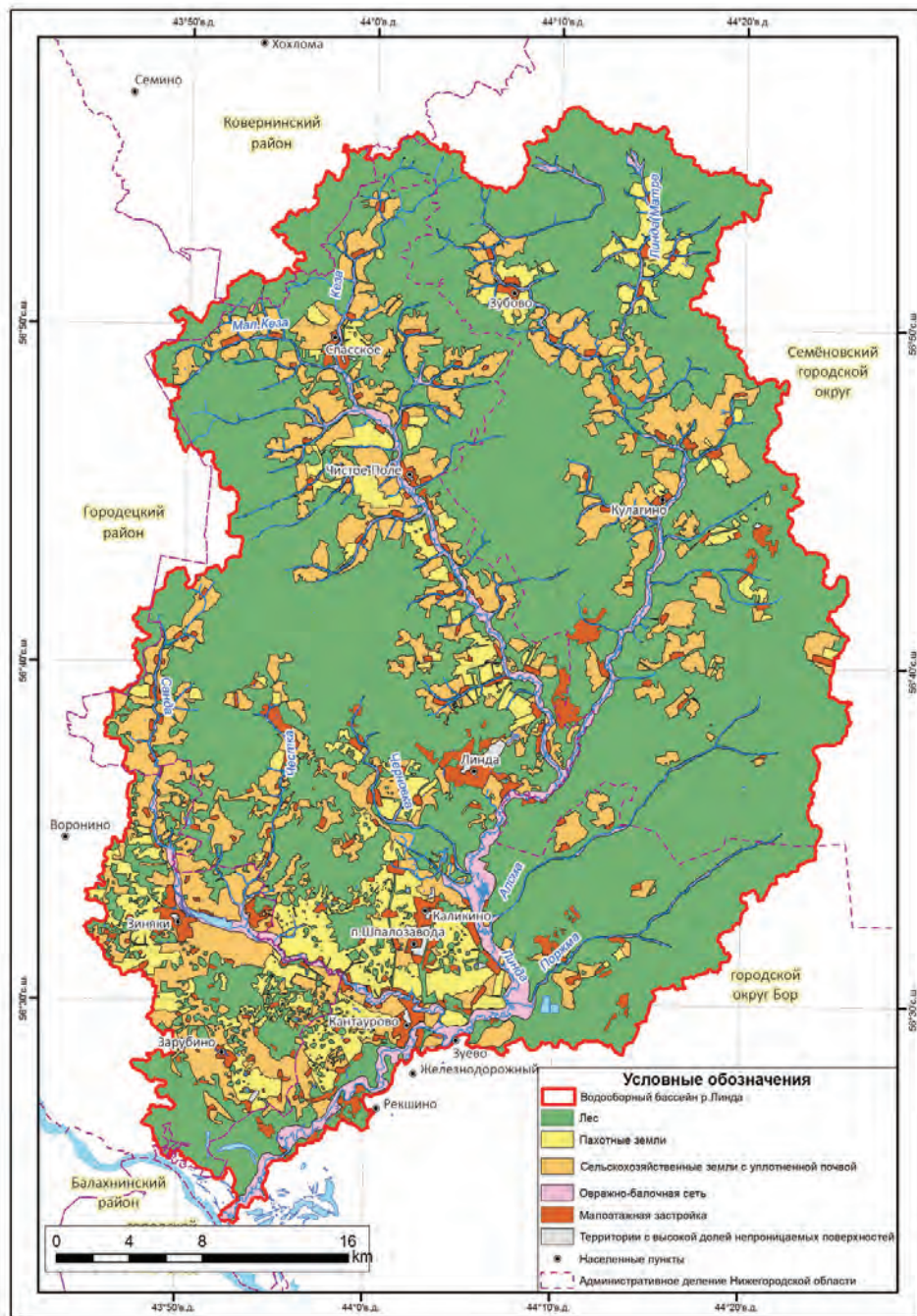


Рис. 4.36. Пример наполнения Блока 1. Раздел «Физико-географические характеристики». Ландшафтная структура бассейна р. Линды, косвенно характеризующая степень антропогенной нагрузки на данную территорию (по материалам ИГ РАН)



Рис. 4.37. Пример наполнения Блока 1. Раздел «Пункты государственного мониторинга» для участка р. Камы в районе Соликамско-Березняковского промышленного узла (по материалам ПФИЦ УрО РАН)

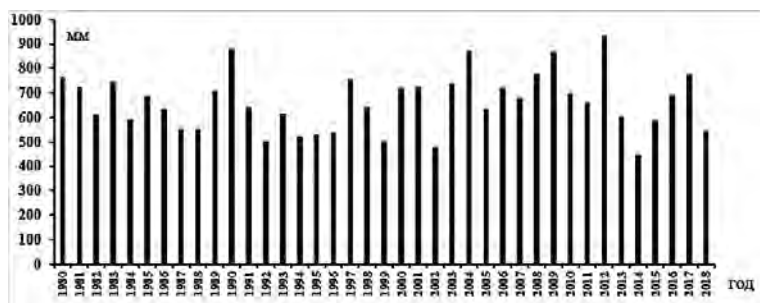


Рис. 4.38. Блока 1. Раздел «Гидрометеорологические характеристики». Годовая сумма осадков за многолетний период (1980–2018 гг.). Метеостанция г. Тверь (по материалам ИВП РАН)

1.6 Дополнительная информация – включает фотографии пилотного объекта и его характеристики, не вписывающиеся в перечисленные разделы.

Таким образом, собрана исчерпывающая информация по всем пилотным объектам, которые характеризуются различными масштабами (площади водосборов от 7 км² до 41000 км²), природными зонами (тайга, смешанный лес, лесостепь, степь, полупустыня) и географическими условиями (объекты расположены в Астраханской, Волгоградской, Кировской, Московской, Нижегородской,

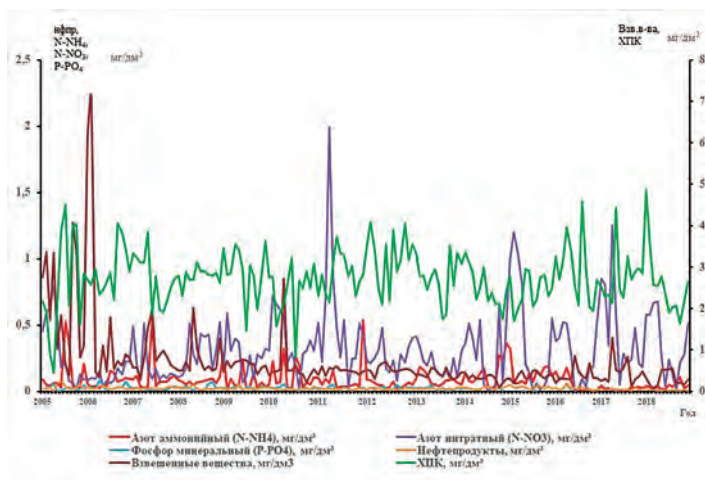


Рис. 4.39. Пример заполнения Блока 1. Раздел «Гидрохимические характеристики». Распределение концентраций нефтепродуктов, фосфатов, азота аммонийного, азота нитратного, взвешенных веществ и ХПК в р. Волге – выше г. Твери, 2005-2018 гг. (по материалам ИВП РАН)

Самарской, Саратовской, Свердловской, Смоленской, Тверской, Ульяновской областях, в Пермском крае, Республиках Башкортостан и Татарстан). Рассмотрены природные особенности водосборов, условия формирования водного режима и качества воды, сведения о современном загрязнении пилотных объектов, существующей системе гидрометеорологического, гидрохимического и водохозяйственного мониторинга.

Блок 2 «Источники загрязнения вод» состоит из разделов:

2.1 Общее описание точечных и источников диффузного загрязнения пилотных водных объектов, расположенных на их водосборах.

2.2 Характеристики источников диффузного загрязнения включают различные показатели, например, такие, как поголовье скота, внесение минеральных и органических удобрений, содержание химических элементов в почвах, площадные характеристики селитебных территорий, промышленных зон и др., которые служат входными параметрами модели или методики расчета ДЗ (Блок 3 прототипа).

Например, установлено, что для водосборов рек в бассейне Куйбышевского водохранилища основными источниками загрязнения биогенными элементами (азотом и фосфором) являются животноводческие, птицеводческие предприятия и удобряемые угодья сельскохозяйственного сектора. Представлены карто-схемы расположения животноводческих комплексов и ферм, проведено районирование пилотных водосборов по количеству внесенного азота и фосфора на сельскохозяйственные поля, по поголовью КРС, свиней, птиц и др. (рис. 4.40–4.42). Наиболее нагруженным является водо-

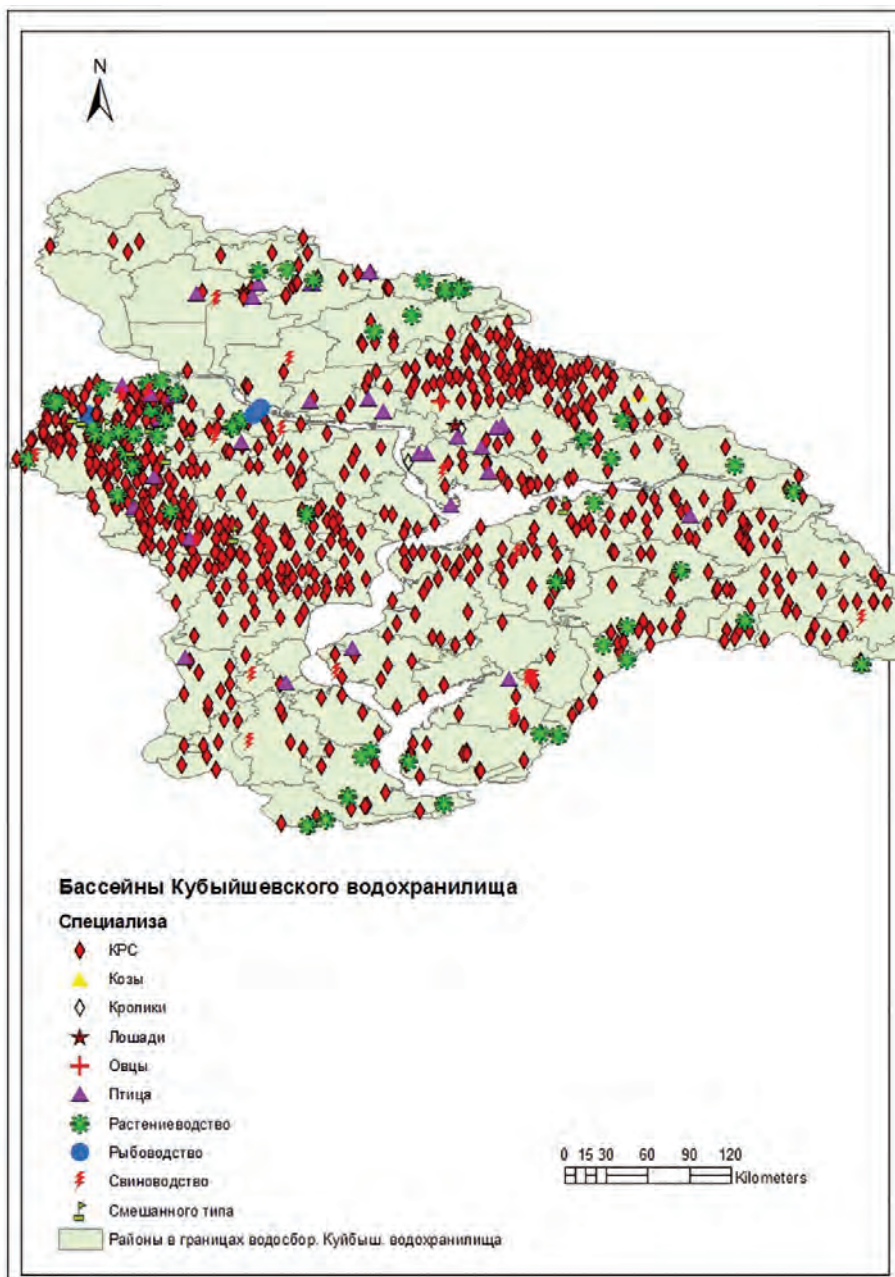


Рис. 4.40. Пример наполнения Блока 2. Раздел «Характеристики диффузных источников загрязнения» - расположение животноводческих комплексов и ферм на водосборах рек бассейна Куйбышевского водохранилища, 2017 г. (по материалам ИНОЗ РАН)

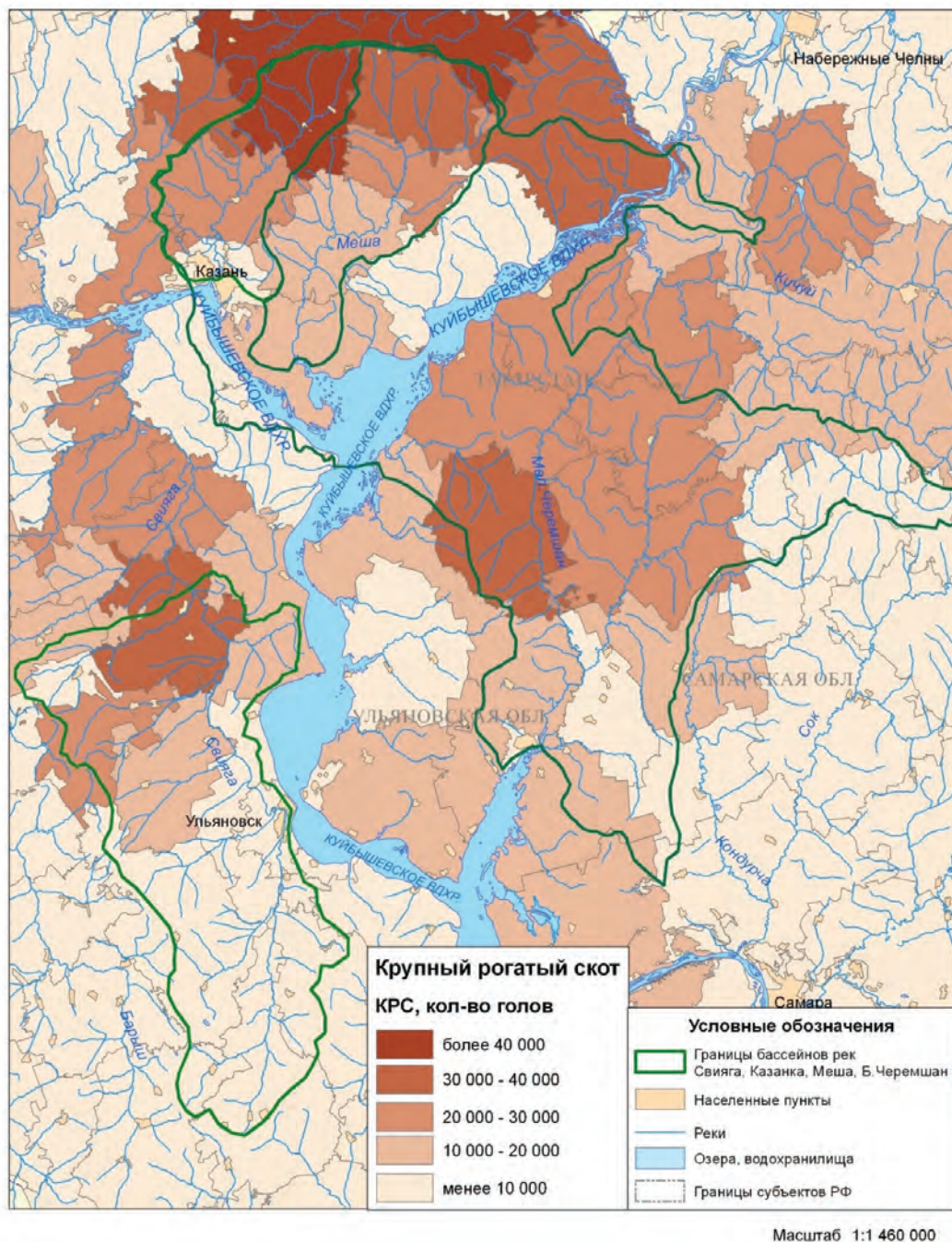


Рис. 4.41. Пример наполнения Блока 2. Раздел «Характеристики диффузных источников загрязнения» – численность поголовья крупного рогатого скота на водосборах рек бассейна Куйбышевского водохранилища, 2017 г. (по материалам ИНОЗ РАН)

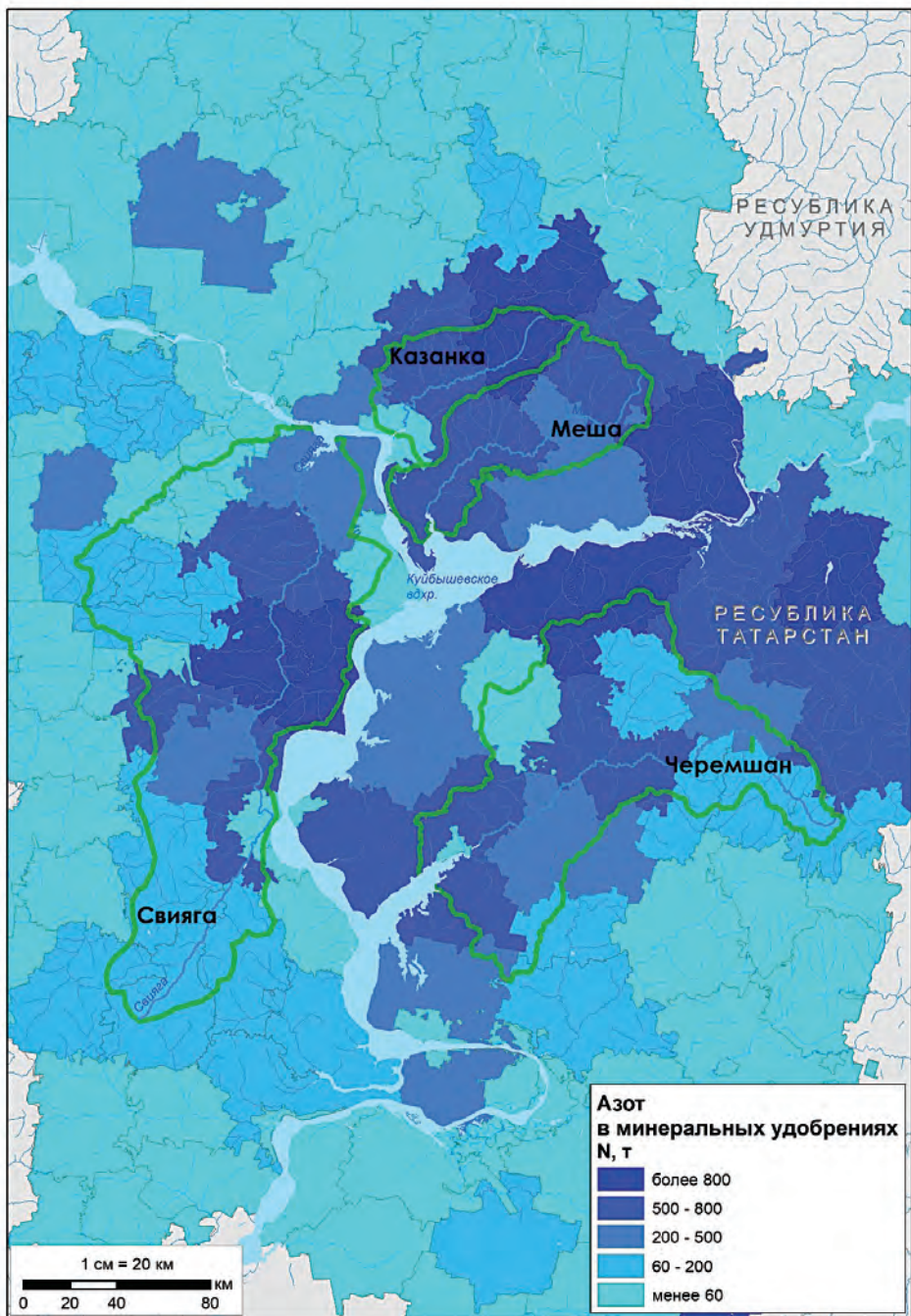


Рис. 4.42. Пример наполнения Блока 2. Раздела «Характеристики диффузных источников загрязнения». Районирование пилотных водосборов в бассейне Куйбышевского водохранилища по массе внесенного азота на сельскохозяйственные поля, 2017 г. (по материалам ИНОЗ РАН)

сбор р. Свяги, на котором расположено 199 животноводческих ферм КРС, 5 птицеводческих ферм и 4 свинофермы, а также 3 агрокультурных комплекса и 2 сельскохозяйственных предприятия смешанного типа.

2.3 Характеристики точечных источников загрязнения приводятся по данным 2–ТП (водхоз).

Для пилотных водосборов проведен анализ многолетней динамики по:

- объему сброса сточных вод;
- типам сточных вод (промышленные, городские, сельскохозяйственные, рекреационные);
- по ЗВ;
- по степени очистки (без очистки, недостаточно-очищенные, нормативно-очищенные, нормативно-чистые).

Примеры приведена на *рис. 4.43 – 4.45*.

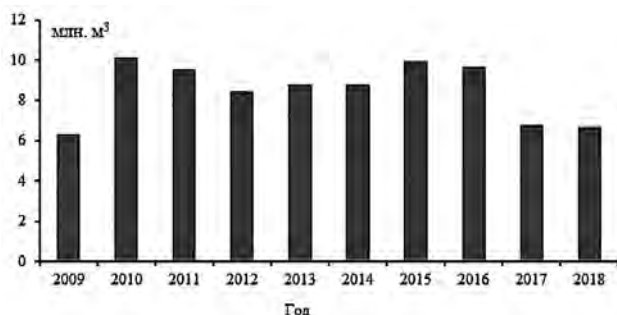


Рис. 4.43. Пример наполнения Блока 2. Объем загрязненных сточных вод от точечных источников загрязнения в бассейне р. Кудьмы (млн. м³), 2009-2018 гг. (по материалам ИГ РАН)

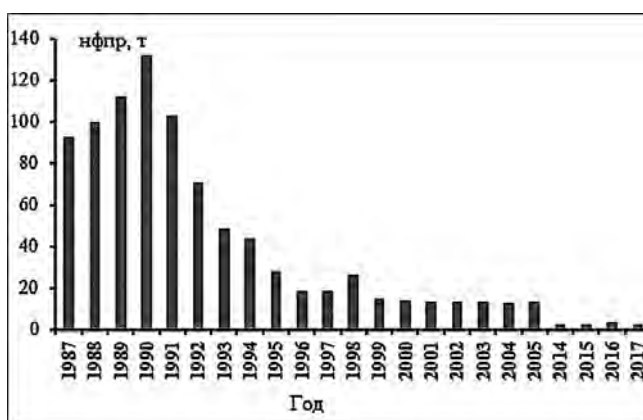


Рис. 4.44. Пример наполнения Блока 2. Масса сброса нефтепродуктов (т) от точечных источников загрязнения на водосборе Иваньковского водохранилища, 1987-2017 гг. (по материалам ИВП РАН)

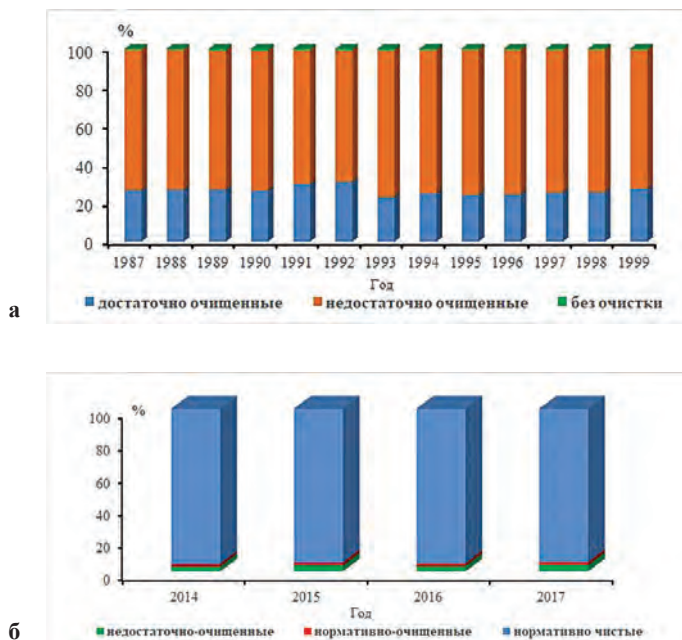


Рис. 4.45. Пример наполнения Блока 2. Структура сточных вод по степени очистки (тыс. м³/год) точечных источников загрязнения за период 1987-1999 гг. (а) и 2014-2017 гг. (б) для водосбора Иваньковского водохранилища (по материалам ИВП РАН)

В Блоке 3 «Расчетные оценки ДЗ» представлены:

- методики расчета ДЗ для пилотных водных объектов;
- результаты расчета (например, масса или модули выноса ЗВ с бассейна водного объекта) в виде карт или диаграмм;
- в некоторых случаях представлены прогнозные значения ДЗ при различных сценариях изменения антропогенной нагрузки, например, при вводе в эксплуатацию залежных земель или при увеличении площади орошаемых земель, массе вносимых удобрений, развитии животноводства.

Для территории размещения ТКО «Кулаково» (Подольский район) на основе трехмерной геомиграционной модели и кода Visual MODFLOW выполнен прогноз миграции загрязнения перхлорэтилена, который является консервативным элементом-трассером с низкой ПДК=0,005 мг/л (рис. 4.46). Выбор данного соединения обусловлен тем, что ореолы загрязнения перхлорэтиленом значительно превышают область влияния полигона, которая идентифицируется по индикаторам-макрокомпонентам.

Для водосбора Иваньковского водохранилища на базе многолетней базы данных расчетных параметров и анализа временной динамики выноса ЗВ

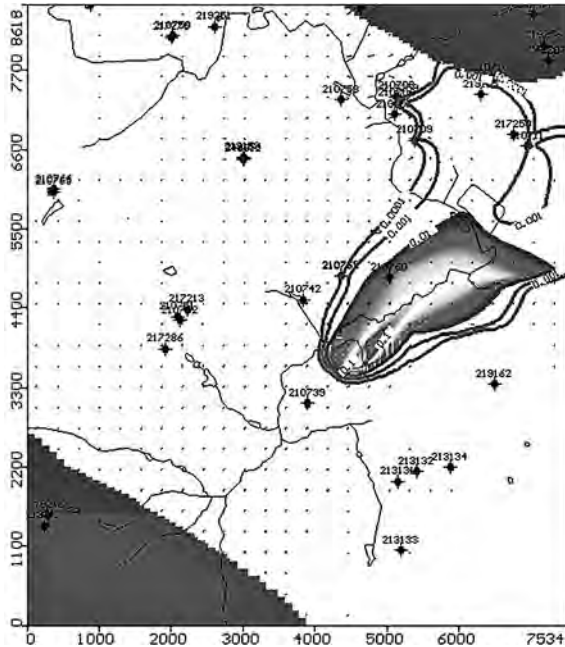


Рис. 4.46. Пример наполнения Блока 3. Прогноз распространения загрязнения перхлорэтиленом с территории полигона ТКО «Кулаково» в каширском водоносном горизонте на 2018 г. (по материалам НПП «Георесурс»). Изолинии концентраций 0.1, 0.01, 0.001 и 0.0001. Градиентом показана область, где концентрация перхлорэтилена ≥ 0.01 мг/л (2 ПДК)

от ИДЗ представлены итоговые оценки по трехлеткам (1986–1988 гг., 2001–2003 гг., 2015–2017 гг.) с районированием водосбора по административному принципу (рис. 4.47, 4.48).

На рис. 4.49 приведен пример результатов расчета диффузного выноса азота с сельскохозяйственных полей на водосборах рек бассейна Куйбышевского водохранилища в 2017 г. При этом дана приближенная оценка средней многолетней биогенной нагрузки на Куйбышевское водохранилище с правобережной и левобережной частью водосбора. Например, модуль выноса азота с правобережной части водосбора составляет 350,9 кг/км²год, с левобережной части – 493,7 кг/км²год.

В Блоке 4 «Водоохранные мероприятия» предложены для каждого типа диффузных источников загрязнения, расположенных на пилотных водосборах.

1) Сельскохозяйственные территории

Например, дополнительными мерами относительно животноводческих отходов могут быть:

- на животноводческих фермах должны быть предусмотрены оборудованные навозохранилища и жижесборники;

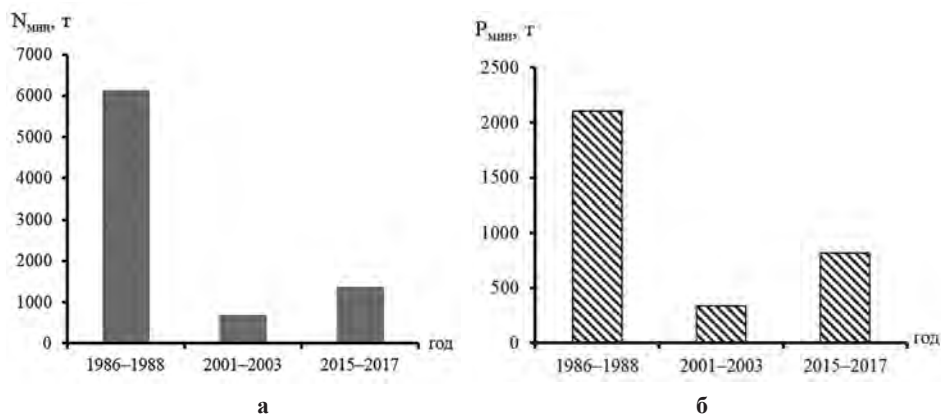


Рис. 4.47. Пример наполнения Блока 3. Суммарный вынос азота (а) ($N_{\text{мин}}$) и фосфора (б) ($P_{\text{мин}}$) с сельскохозяйственных объектов в гидрографическую сеть водосбора Ивановского водохранилища (1986-1988 гг., 2001-2003 гг., 2015-2017 гг.) (по материалам ИВП РАН)

- оборудованные места стоянки скота и водопойные площадки с размещением не ближе 300 метров от водных источников;
- складские помещения для хранения удобрений, ядохимикатов и горючих материалов должны быть расположены не ближе 500 м от населенных пунктов и водных источников;
- жидкий навоз и навозные стоки должны подвергаться очистке: механической, искусственной и естественной биологической очистке или физико-химической обработке. Выбор способа очистки определяется местными условиями рельефа и расположения гидрографической сети;
- очистка территории животноводческих предприятий должна быть механизирована и осуществляться систематически с помощью мобильных мусоровозов, поливочных автомобилей, автопылесосов, смонтированных на тракторах, других машин и агрегатов, которые следует располагать на бетонированных площадках с твердым покрытием, специально выделенных для этой цели.

2) Городские территории

Водоохранные мероприятия для городских территорий можно разделить на несколько категорий.

1. Мероприятия по улучшению санитарного состояния:

- организация регулярной уборки территорий;
- проведение своевременного ремонта дорожных покрытий;
- ограждение зон озеленения бордюрами, исключающими смыв грунта во время ливневых дождей на дорожные покрытия;
- повышение технического состояния эксплуатируемой техники;
- организация уборки и очистки снега с автомобильных дорог, мостов и в пределах водоохранных зон;

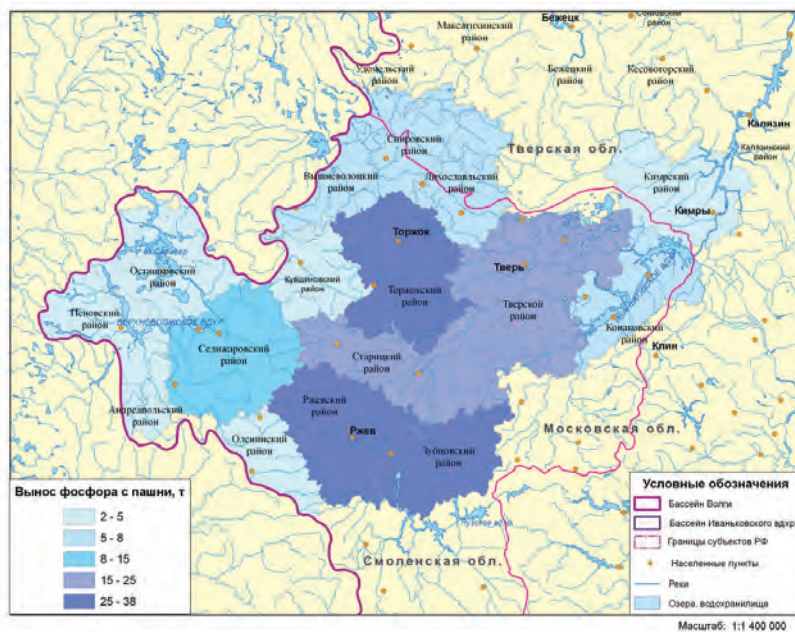
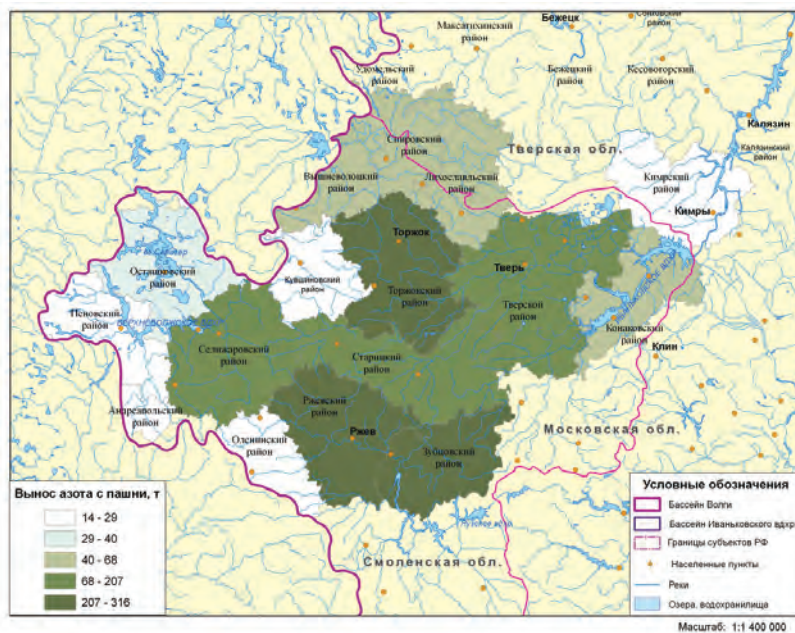


Рис. 4.48. Пример заполнения Блока 3.
 Районирование водосбора Ивановского водохранилища по среднегодовой массе выноса минерального азота ($N_{\text{мин}}$, т) и минерального фосфора ($P_{\text{мин}}$, т) с сельскохозяйственных объектов в гидрографическую сеть, среднее 1986-1988 гг. (по материалам ИВП РАН)

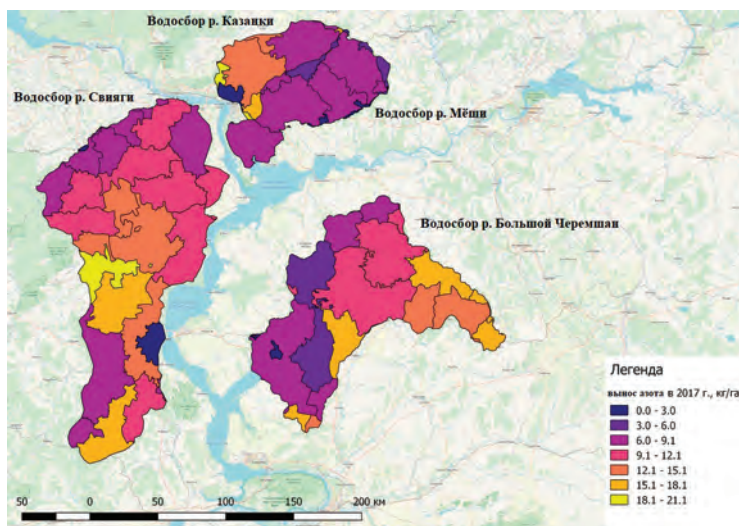


Рис. 4.49. Пример наполнения Блока 3. Модуль выноса азота с сельскохозяйственных полей (кг/га) в 2017 г. на водосборах рек бассейна Куйбышевского водохранилища (по материалам ИНОЗ РАН)

- ограждение строительных площадок с упорядочением отвода поверхностного стока по временной системе открытых лотков, осветлением его на 50–70% в отстойниках и последующим отведением на очистку;
- исключение сброса в очистные сооружения отходов производства, в том числе и отработанных нефтепродуктов;
- упорядочение складирования и транспортирования сыпучих и жидких материалов.

2. Мероприятия, направленные на очистку поверхностного стока.

Применяемые очистные сооружения подразделяются на:

- пруды-отстойники (в том числе каскадного типа);
- гидробиотанические площадки;
- модульные станции глубокой очистки;
- очистные сооружения индивидуального проектирования из сборного и монолитного железобетона;
- очистные сооружения типа «фильтрующий патрон»;
- простейшие очистные сооружения.

Кроме того, по расположению очистные сооружения делятся на:

- очистные сооружения наземного расположения;
- очистные сооружения подземного расположения;
- очистные сооружения наземно-подземного расположения;
- навесные очистные сооружения.

3) Промышленные площадки

В соответствии с нормативными документами в системе ливневой канализации для территории промышленных предприятий должна быть обеспечена очистка всего объема поверхностного стока [Рекомендации по расчету..., 2014].

Выбор схемы отведения и очистки поверхностного стока должен осуществляться на основе оценки технической возможности и экономической целесообразности следующих мероприятий:

- использования неочищенного поверхностного стока в системах технического водоснабжения;
- локализации тех участков производственных территорий, на которых возможно попадание на поверхность специфических загрязнений, с отводом стока в производственную канализацию или после их предварительной очистки – в ливневую сеть;
- раздельного отведения поверхностного стока с водосборных площадей, отличающихся по характеру и степени загрязнения территории;
- самостоятельной очистки поверхностного стока;
- подачи поверхностного стока на общезаводские очистные сооружения для совместной с производственными сточными водами очистки.

Выбор системы отведения поверхностного стока с площадок предприятий осуществляется исходя из климатических условий объекта проектирования, рельефа местности, требований к качеству очистки сточных вод и возможных условий отведения очищенных сточных вод в водный объект или на повторное использование.

Блок 5 «Эффективность водоохранных мероприятий» включает эколого-экономические расчеты внедрения предложенных в Блоке 4 мероприятий. При выборе водоохранных мероприятий можно выделить два вида представления их эффективности – экологической (снижение потоков ЗВ) и экономической (выраженное в стоимостной форме снижение потоков ЗВ).

Предотвращенный экологический ущерб оценивается разностью между выносом массы ЗВ до проведения природоохранных мероприятий и после их реализации. Экономический эффект (в рублях) предотвращенного экологического ущерба пропорционален снижению масс выносимых загрязнений в результате применения водоохранных мероприятий. Экономическую оценку предотвращенного экологического ущерба принято считать по «Временной методике определения предотвращенного экологического ущерба» (утв. Госкомэкологией РФ 09.03.1999).

Пример результатов оценки эффективности водоохранных мероприятий для рек водосбора Чебоксарского водохранилища представлен на *рис. 4.50*. Наибольший эффект по снижению поступления азота и фосфора из ИДЗ дает установка септиков у всего сельского населения, не обеспеченного центральной канализацией. Суммарно по трем пилотным водосборам эко-

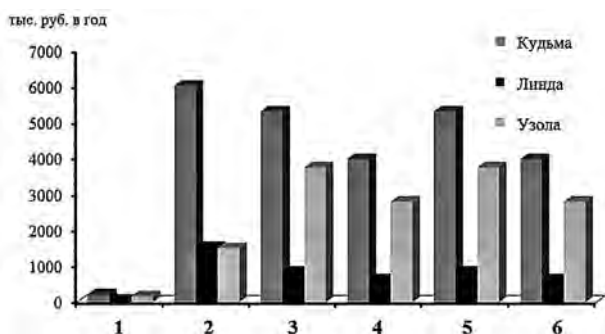


Рис. 4.50. Пример наполнения Блока 5. Сокращение экологического ущерба (тыс. руб) в результате проведения водоохранных мероприятий на пилотных водосборах рек Кудьма, Линда и Узола (по материалам ИГ РАН)

- 1 - модернизация ливневой канализации в городах;
- 2 - организация септиков в сельских населенных пунктах (100% охват);
- 3 - создание лесополос, усиленных валом-канавой;
- 4 - оптимальное использование минеральных и органических удобрений;
- 5 - создание кулис из высокостебельных растений;
- 6 - минимальная безотвальная обработка почвы с осени с обязательным ее мульчированием растительными остатками

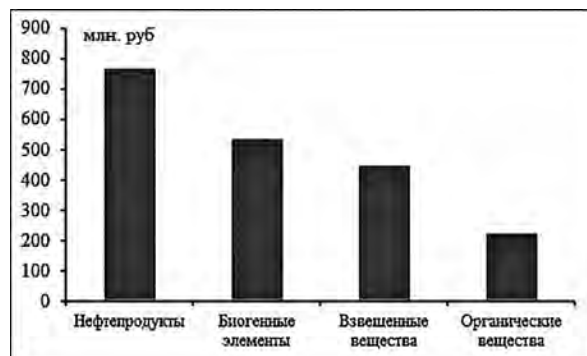


Рис. 4.51. Пример наполнения Блока 5. Предотвращенный экологический ущерб в результате проведения водоохранных мероприятий на водосборе Иваньковского водохранилища (по материалам ИВП РАН)

номический эффект при обеспечении септиками всего сельского населения составит около 9,1 млн руб. в год.

Для водосбора Иваньковского водохранилища общая неконтролируемая нагрузка от ИДЗ определялась для промышленных площадок, городских и сельскохозяйственных территорий, поэтому расчет предотвращенного экологического ущерба проводился по нескольким характерным гидрохимическим показателям. Получен основной вывод: наибольший эффект может быть достигнут по отношению к нефтепродуктам (рис. 4.51).

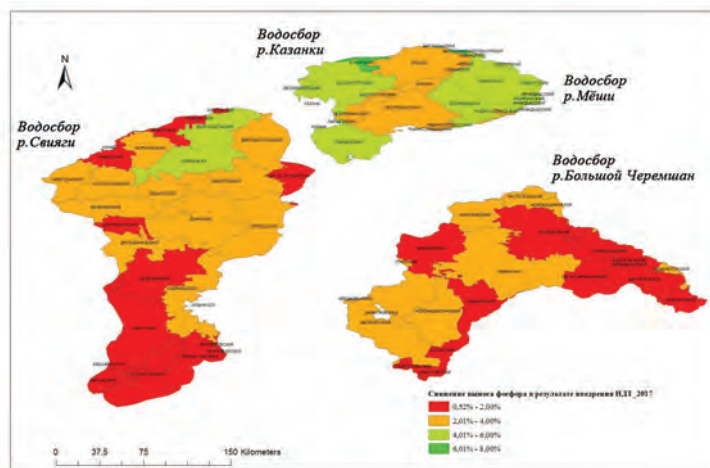


Рис. 4.52. Пример наполнения Блока 5. Пространственное распределение возможного снижения азотной нагрузки в результате внедрения НДТ в сельскохозяйственное производство на всей территории пилотных водосборов (по материалам ИНОЗ РАН)

Другой подход реализован для водосбора рек Куйбышевского водохранилища. Поскольку это один из наиболее развитых сельскохозяйственных регионов РФ, то основное направление снижения диффузной нагрузки связано с оптимизацией ведения сельскохозяйственной деятельности. В настоящее время основным направлением повышения экологической безопасности интенсивного сельскохозяйственного производства является переход на наилучшие доступные технологии (НДТ). Принцип НДТ определяет систему регулирования негативного воздействия на окружающую среду, основанную на внедрении современных технологий, систем мониторинга за их функционированием и принятия оптимизационных решений по результатам мониторинга.

НДТ, связанные с влиянием на диффузную нагрузку, включают технологии переработки и хранения навоза и помета животноводческих комплексов и птицефабрик, технологии внесения органических и минеральных удобрений с учетом агротехнических и экологических требований.

Результаты расчета пространственного распределения возможного снижения биогенной нагрузки на пилотные водосборы при внедрении НДТ в сельскохозяйственное производство по сравнению с условиями 2017 г. позволяют сделать вывод о том, что в результате нагрузка по азоту в бассейнах рек Казанки и Мёши сократится более чем на 10%. В бассейнах рек Черемшани и Свяги этот показатель не превышает 8% (см. рис. 4.52). Повышенный потенциал снижения нагрузки в бассейнах рек Казанки и Мёши обусловлен более интенсивным применением минеральных и органических удобрений на этих территориях (доза внесения азота с удобрений примерно в два раза выше, чем в контролируемых территориях бассейнов рек Черемшана и Свяги).

4.3 ИНФОРМАЦИОННО-МОДЕЛИРУЮЩИЙ КОМПЛЕКС НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ВОДНОГО И ХИМИЧЕСКОГО СТОКА В СИСТЕМЕ ВОДОСБОР-ВОДОЕМ (НА ПРИМЕРЕ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА)

Федеральный проект «Оздоровление Волги» направлен на разработку и реализацию мероприятий по сохранению и улучшению качества воды и гидроэкологического состояния водохранилищ Волжско-Камского каскада (ВКК). Чрезвычайно сложные многообразные процессы формирования количества и качества воды и функционирования экосистем водохранилищ определяются непрерывным взаимодействием водного объекта – водохранилища и его водосборной территории. Высокая хозяйственная освоенность водосборов волжских водохранилищ способствует росту антропогенной нагрузки на них, следствием чего является ухудшение состояния экосистем и качества воды. При решении задач регулирования и управления качеством воды в бассейне Волги необходимым этапом следует считать обоснованную оценку реакции экосистем водохранилищ на внешнюю нагрузку.

Научно обоснованное прогнозирование экологической реакции на антропогенное воздействие в системе водохранилищ ВКК, оценка эффективности различных управленческих решений в области рационального использования, охраны и восстановления экосистем водохранилищ невозможны без создания математических моделей качества воды как на водосборе, так и в самом водохранилище. Использование таких моделей в качестве инструмента экологического прогноза или экспертной системы в рамках сценарного моделирования природных процессов – наиболее перспективный путь решения задач управления качеством воды и продуктивностью водохранилищ. При выработке стратегии управления качеством воды математические модели позволяют учесть взаимообусловленность связей между компонентами экосистемы и оценить направленность изменений в ее поведении в зависимости от характера и интенсивности внешних нагрузок.

Разработанный информационно-моделирующий комплекс (ИМК) предусматривает последовательную реализацию трех математических моделей системы <Водосбор Нижнекамского водохранилища – Нижнекамское водохранилище – Куйбышевское водохранилище>. Цель работы с ИМК – оценить влияние водосбора крупнейшего притока в Нижнекамское водохранилище – р. Белой на трансформацию качества воды и состояние экосистем водохранилищ Волги на примере высокопроточного Нижнекамского и крупнейшего в каскаде Куйбышевского водохранилищ. Эта система может рассматриваться как прототип экспертного инструмента для определения целе-

сообразности и эффективности управленческих решений, направленных на сохранение и улучшение качества воды исследуемых водных объектов [Motovilov, Golosov et al, 2020].

4.3.1 Модель формирования водного и химического стока на водосборе Нижнекамского водохранилища ECOMAG

Структура модели

В настоящее время для крупнейших речных бассейнов России построена и доведена до технологического уровня использования пространственно-распределенная физико-математическая модель ECOMAG (ECOLOGICAL Model for Applied Geophysics) [Мотовилов, 2016; Фащевская, Мотовилов, 2017; Motovilov, 2013], которая позволяет воспроизводить и прогнозировать динамику полей гидрологических и гидрохимических переменных (речного стока, характеристик снежного покрова, влажности почвы, загрязнения воды и др.) с высоким пространственно-временным разрешением и с достаточной, по принятым критериям, точностью. При этом ECOMAG опирается на данные стандартного отечественного гидрометеорологического и гидрохимического мониторинга. Это положение приобретает особую значимость ввиду ограниченности возможностей применения для бассейнов России развитых зарубежных гидрологических моделей, поскольку последние в большинстве случаев разрабатывались для отличающихся от российских условий формирования речного стока и опирались на иную по составу и точности исходную информацию. В работах [Мотовилов, Гельфан, 2018; Motovilov, Fashchevskaya, 2019] на примере речных бассейнов, расположенных в разных физико-географических условиях, рассмотрены приложения модели к актуальным задачам гидрологии речных бассейнов, включая оценку изменений водного и гидрохимического режима под влиянием изменений климата и антропогенной нагрузки, управления действующими водноресурсными системами, эффективности противопаводковых мероприятий и др., а также к задачам оперативных гидрологических прогнозов.

При разработке модели формирования стока для крупных речных бассейнов ECOMAG оказалась весьма эффективной и востребованной концепция агрегирования процессов и параметров модели на характерных для описываемого речного бассейна пространственных масштабах (репрезентативных элементарных площадях), определяемых его физико-географическими факторами. В рамках указанной концепции элементарный водосбор может являться расчетной пространственной единицей для моделирования крупного речного бассейна, состоящего из множества таких элементарных водосборов. В этом случае для описания гидрологических процессов уже не требуется такая пространственная детализация, как

в традиционных физико-математических моделях – в агрегированных моделях оперируют осредненными в пределах элементарных водосборов потоками. Для описания гидрологических и гидрохимических процессов здесь могут быть использованы упрощенные модели, полученные при тех или иных допущениях из базисных уравнений детальных физико-математических моделей. Такого рода модели сохраняют основные черты и преимущества традиционных пространственно распределенных физико-математических моделей и в то же время они более эффективны при решении прикладных и исследовательских задач на более крупных речных бассейнах, так как они менее требовательны к составу и полноте исходной информации, что делает их использование предпочтительным при недостаточности данных наблюдений. Подобные модели все чаще начинают использоваться в задачах планирования и управления водными ресурсами крупных речных бассейнов, в особенности, когда необходимо учесть пространственную изменчивость стокообразования, обусловленную распределением по территории климатических факторов и характеристик подстилающей поверхности.

Таким образом, одним из ключевых моментов при построении региональных гидрологических моделей является процесс выделения пространственных расчетных единиц – элементарных водосборов. В комплексе ЕСОМАГ модельная схематизация водосборной площади и речной сети выполняется с использованием специализированной ГИС-технологии на основе цифровых тематических карт региона: цифровой модели рельефа, гидрографической сети, почв и ландшафтов. Суть этой технологии заключается в следующем. Чтобы моделировать процессы гидрологического цикла и стекания воды по склонам водосбора и в русловой сети, необходимо провести модельную схематизацию речного бассейна и речной сети, информация о древообразной структуре которых (какая река впадает в какую, протяженность притока, прилегающие склоны, с которых вода попадает на данный участок реки, типы почв и землепользования на этих участках и т.д.) закладывается в модель. Для автоматизации процесса модельной схематизации разработан программный модуль специализированной ГИС, который позволяет на основе цифровой модели рельефа в автоматическом режиме выделять модельную речную сеть с необходимым пространственным разрешением, оконтуривать водосборные площади притоков и участков русловой сети, проводить структурно-гидрографический анализ речных сетей, осуществлять процедуры наложения различных полей на элементарные водосборы, вычислять статистические характеристики пространственных полей и выполнять другие математические операции с ними, необходимые для решения пространственных задач гидрологического и водохозяйственного профиля.

Таким образом, функционал технологии автоматизированного выделения элементарных речных водосборов и модельной речной сети заключается в построении полей линий тока, направлений потока и полей аккумуля-

ции водных потоков на основе цифровой модели рельефа. Ячейки с высоким значением аккумуляции (накопления) образуют модельную гидрографическую сеть. После этого включается процедура «разбиения» рассматриваемого бассейна на элементарные водосборы, представляющие собой частные водосборные площади между узлами речной сети, и присвоения каждому расчетному элементу модельных параметров (типов почв, растительности и т.д.) на основе наложения соответствующих карт. Имеющиеся в настоящее время в базах данных ЕСОМАГ информационные ресурсы по объему и пространственному покрытию территории России достаточны для проведения пространственных схематизаций, построения региональных гидрологических моделей и выполнения расчетов для любых крупных речных бассейнов России.

На каждом из выделенных элементарных водосборов процессы вертикального и горизонтального тепло- и массообмена в ЕСОМАГ моделируются с помощью двух основных блоков: гидрологической подмодели формирования стока и гидрохимической подмодели миграции и трансформации ЗВ в речных бассейнах. Первая подмодель описывает процессы гидрологического цикла суши: формирование снежного покрова и снеготаяние, промерзание и оттаивание почвогрунтов, инфильтрацию талых и дождевых вод в почву, испарение, динамику влажности почвы, формирование поверхностного, подповерхностного, грунтового и речного стока. Уравнения, алгоритмы и результаты испытаний этого блока модели на примере крупнейших речных бассейнов северного полушария (Волги, Лены, Амура, Маккензи и др.), расположенных в различных географических зонах с разными условиями формирования стока, типами питания и гидрологического режима водных объектов, описаны во многих работах [Калугин, Мотовилов, 2018; Мотовилов, 2016, 2017; Мотовилов, Гельфан, 2018].

Гидрохимическая подмодель, ориентированная на описание закономерностей миграции и трансформации ЗВ в речных бассейнах, учитывает процессы их аккумуляции на поверхности речного бассейна, растворение талыми и дождевыми водами, просачивание растворенных ЗВ в почву, взаимодействие с почвенным раствором и твердой фазой почвы [Фашчевская, Мотовилов, 2017; Motovilov, 2013; Motovilov, Fashchevskaya, 2019]. Транспорт растворенных ЗВ в речном бассейне зависит от интенсивности гидрологических процессов и осуществляется поверхностным, подповерхностным, грунтовым и речным стоком. Поэтому гидрологические характеристики, определяемые в гидрологическом модуле, используются как входы для гидрохимической подмодели. Горизонтальные потоки (поверхностное, подповерхностное и грунтовое стекание) с элементарного водосбора осуществляются в речную сеть, проходящую через этот расчетный элемент. Перетоки между расчетными элементами учитываются только через процесс трансформации воды по речной сети. Более подробное описание блоков модели ЕСОМАГ дано в разделе 1.2.2.

Для удобства проведения расчетов в рамках различных проектов информационной поддержки при управлении водными ресурсами, прогнозирования водного и гидрохимического режима, а также для научных исследований разработан компьютерный технологический комплекс (КТК) ЕСОМАГ. Комплекс включает расчетный модуль физико-математической модели ЕСОМАГ и средства информационной и технологической поддержки работы этого модуля: тематические цифровые электронные карты, технологию автоматизированного разбиения водосборной площади на элементарные водосборы и схематизации речной сети, базы данных характеристик подстилающей поверхности, базы данных гидрометеорологической, гидрохимической и водохозяйственной информации, средства управления базами данных и геоинформационной обработки пространственной информации, а также управляющую оболочку. Управляющая оболочка позволяет связать информацию ГИС для рассматриваемой территории с информацией баз данных, сконфигурировать необходимый вариант расчета, запустить модель на счет и отобразить результаты расчетов на экране компьютера в форме различных графиков и схематических карт территории, включающих картографическую основу, расчетные гидрологические карты и карты загрязнения речного бассейна и русловой сети. КТК ЕСОМАГ предназначен для широкого круга гидрологических и природоохранных прикладных задач диагностики и прогнозирования.

Адаптация КТК ЕСОМАГ на водосборе Нижнекамского водохранилища

Общая площадь водосбора р. Камы в створе Нижнекамского гидроузла составляет 366 тыс. км², а частный водосбор Нижнекамского водохранилища (НКВ) между Нижнекамским и Воткинским гидроузлами, расположенный в Южно-Уральском регионе России, имеет площадь 186 тыс. км². Водосбор характеризуется высокими концентрациями тяжелых металлов (ТМ) в природных водах из-за значительного содержания рудообразующих элементов в почвах и горных породах.

Схематизация водосборной площади и речной сети в бассейне НКВ, задание большинства физически обоснованных параметров модели выполнялись на основе тематических карт региона с использованием ИМК ЕСОМАГ.

Расчеты по модели ЕСОМАГ проводятся по метеорологическим данным с суточным шагом по времени. Поля метеоданных (суточных осадков, среднесуточной температуры и дефицита влажности воздуха) на территорию бассейна – вход в модель. Модель в непрерывном режиме рассчитывает поля снежного покрова, снеготаяния, увлажнения и промерзания почвы, испарения, генетических составляющих речного стока. Гидрографы стока на гидропостах, притока воды к водохранилищам за предшествующие периоды, а также поля снежного покрова по данным снегосъемок, поля влажности и глубины промерзания почвы по данным измерений на агрометеорологических станциях используются в модели для калибровки ее параметров и проверки точности гидрологического блока модели.

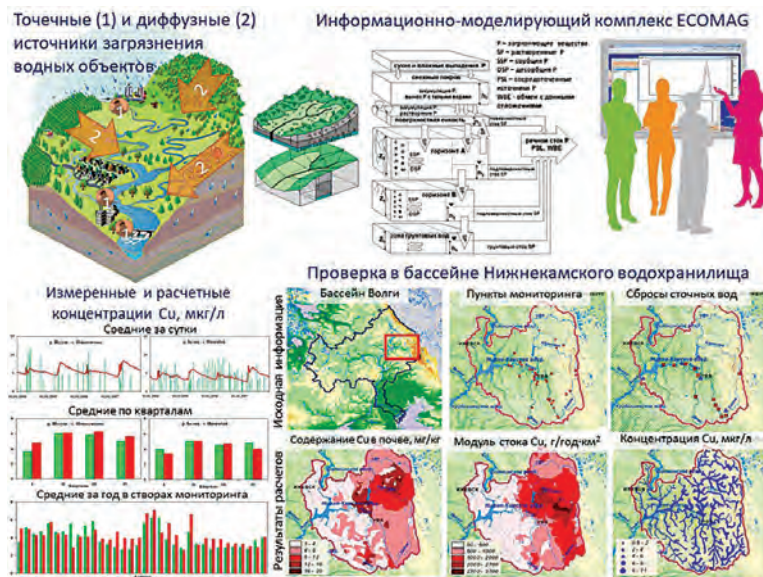


Рис. 4.53. Схематическое представление структуры гидрохимического блока модели, расположения пунктов гидрохимического мониторинга и видов представления расчетной гидрохимической информации

В гидрохимической подмодели начальные условия по концентрации ЗВ в почвах водосбора НКВ задавались на основе приведенных в Атласе [Атлас Республики..., 2005] карт содержания химических элементов в пахотном слое почв. Содержание ЗВ в атмосферных осадках и в напорных грунтовых водах, осуществляющих подпитку верховодки в зоне аэрации почвогрунтов, задавалось на основе региональных справочников. В качестве информации о точечных антропогенных источниках загрязнения речных вод использовались данные о сбросах ЗВ со сточными водами в населенных пунктах в бассейне р. Белой на основе форм статистической отчетности 2–ТП (водхоз). Для калибровки параметров и проверки гидрохимической подмодели используются многолетние данные о динамике содержания ЗВ в речных водах на 34 постах на р. Белой и ее притоках, полученные службами Росгидромета (рис. 4.53).

На основании численных экспериментов по модели ECOMAG для водосбора Нижнекамского водохранилища [Fashchevskaya, Motovilov, 2019; Motovilov, Fashchevskaya, 2019] сделано следующее:

- проведена оценка вклада природных и антропогенных составляющих в формирование гидрохимического стока ЗВ;
- выполнены расчеты полей и построены карты среднемноголетних модулей водного стока и химического стока ЗВ;

- построены карты среднемноголетних концентраций ЗВ в водотоках бассейна НКВ, в том числе на участках рек, не охваченных гидрохимическими наблюдениями;
- проведены оценки вклада сточных вод в загрязнение речных вод при различных объемах точечных сбросов ЗВ на водосборе.

Результаты расчетов гидрографов стока и динамики ЗВ по модели ЕСОМАГ в устье р. Белой, а также притока к выделенным отсекам НКВ – входы в модель ГМВ–МГУ.

4.3.2 Гидрологическая модель трансформации качества воды в Нижнекамском водохранилище (ГМВ–МГУ)

Нижнекамское водохранилище создано в 1978 г. в долине р. Камы путем перекрытия реки (1 ноября 1978 г.) и наполнения в 1979 г. до временной отметки 62,0 м БС (проектная отметка 68,0 м БС). Полный объем водохранилища при отметке 62,0 м БС составляет 2,9 км³, площадь водного зеркала – 1,08 тыс. км². Максимальная ширина водохранилища равна 15, средняя – 4 км. Длина водохранилища – 185 км. В 2002 г. НПУ водохранилища был поднят до 63,3 м БС.

Нижнекамское водохранилище представляет собой сложный водоем как с морфологической, так и с гидродинамической и экологической точек зрения. Основная часть притока воды в водохранилище поступает по р. Каме (64%) из Воткинского водохранилища и по р. Белой (31%), остальная часть – боковой приток малых рек водосбора. Водохранилище эксплуатируется в условиях ежегодного недобора уровня воды на 5–6 м ниже проектной отметки НПУ, в результате чего площадь мелководий с глубинами до 2 м достигает в нем до 50% общей площади водохранилища и неблагоприятно сказывается на качестве воды.

Идеология и структура модели

Разработанная на кафедре гидрологии суши географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова гидрологическая модель водохранилищ (ГМВ–МГУ) представляет собой боксовую квазидвумерную продольно-вертикальную модель водохранилища, включающую блоки расчета тепломассообмена (ТМО) и характеристик качества воды и продуктивности водохранилища (экологический блок) [Гидроэкологический режим..., 2015; Пуклаков, 1999; Puklakov, 1995].

Модель основана на следующих требованиях к алгоритмам расчета:

- 1) схематизация водохранилища должна учитывать его морфологическое строение и гидротехнические особенности водозаборов гидроузлов;
- 2) простота алгоритма численного решения уравнений;

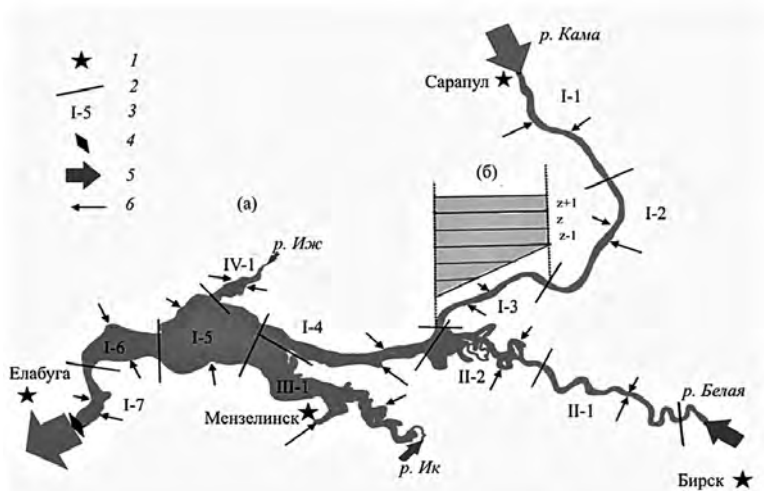


Рис. 4.54. Схематизация Нижнекамского водохранилища:

- а) деление водохранилища на отсеки; б) деление отсека на расчетные боксы.
 1 – метеостанции, 2 – границы выделенных отсеков, 3 – номера расчетных лопастей-отсеков, 4 – Нижнекамская ГЭС, 5 – приток-сток основных рек, 6 – боковой приток к отсекам

3) адекватность воспроизведения и по возможности наиболее полный охват основных процессов, определяющих гидрологический режим водохранилища;

4) расчеты должны воспроизводить вертикальную структуру водной массы отдельных плесов-отсеков водохранилища с шагом по глубине 1 м и ее изменение во времени с шагом 1 сут в течение всего годового цикла;

5) описание гидрометеорологических процессов в модели должно использовать методики, рекомендованные для гидрологических и водохозяйственных расчетов при проектировании водохранилищ [Руководство по гидрологическим..., 1983];

6) модельные расчеты должны базироваться на стандартной гидрометеорологической информации Росгидромета и сети мониторинга загрязнения окружающей среды.

Нижнекамское водохранилище схематизировано в модели в виде четырех лопастей, поделенных на 11 плесов-отсеков (рис. 4.54а). Каждая лопасть делится на расчетные отсеки с учетом их гидродинамических и морфометрических особенностей. Все отсеки разбиваются по вертикали на горизонтальные боксы (рис. 4.54б). Батиграфические кривые и морфометрические характеристики отсеков получены путем планиметрирования лоцманских карт рек Камы и Белой [Атлас единой..., 2016, 2017] с коррекцией полученных результатов по таблицам площадей и статических объемов водохранилища [Приказ Росводресурсов..., 2014]. В пределах каждого бокса водная масса предпола-



Рис. 4.55. Блок-схема алгоритма ГМВ-МГУ

гается однородной. Толщина боксов постоянна – 1 м, за исключением поверхностного бокса, толщина которого меняется в пределах 0,5–1,5 м.

При последовательном выполнении расчетов от отсека к отсеку начиная с верховьев водоема к каждому из них применим алгоритм классической одномерной (по вертикали) модели, детально изложенный в [SEQUAL-R1..., 1986]. Изменения характеристик водной массы в боксе определяются на основе балансовых уравнений, описывающих неразрывность водной среды и закон сохранения вещества и энергии в каждом боксе отсека при условии полного смешения притока с содержимым расчетного бокса. Уравнение состояния воды учитывает зависимость ее плотности от температуры и электропроводности для пресной воды гидрокарбонатного и сульфатного классов [Гидроэкологический режим..., 2015]. Сток воды из водохранилища задается через разноуровневые водосбросы с учетом селективности водозабора по зависимостям Бохена и Грейса [Хендерсон-Селлерс, 1987].

Алгоритм расчетов структурирован в виде четырех блоков (рис. 4.55).

Расчет по модели выполняется на основе метода суперпозиции в следующей последовательности для каждого расчетного шага по времени:

- оценка трансформации метеоданных над водной поверхностью отсеков;
- водный баланс и новый уровень воды в водохранилище;
- внутримассовая трансформация характеристик качества воды в боксах отсеков;
- тепловой баланс и динамика снежно-ледяного покрова;
- эффективное ветровое перемешивание;
- вынужденная конвекция в виде циркуляции Ленгмюра;
- свободно-конвективное перемешивание;
- водообмен в результате стоковых течений;

- динамическое перемешивание;
- водообмен в результате плотностных, ветровых и компенсационных течений;
- формирование файлов результатов расчета.

В конце каждого расчетного шага осуществляется контроль баланса вещества и энергии в отсеках.

Адаптация модели для Нижнекамского водохранилища

Все исходные данные разделены в модели на 3 группы: файлы базовых и начальных условий и файл текущей информации. В базовый файл входит информация о моделируемом объекте, его схематизации, морфометрии выделенных отсеков, водосборах притоков водоема, частных водосборах отсеков, метеостанциях и их привязке к отсекам, параметрах водозаборных сооружений, константах химических и биологических реакций, а также гидрохимические характеристики грунтовых вод и атмосферных осадков в регионе расположения водохранилища.

В файле начальных условий приводится информация о состоянии водной поверхности (наличие ледостава или его отсутствие), о вертикальном распределении гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических характеристик воды в каждом отсеке на начало расчета. Расчеты гидрологического режима НКВ проводятся для многолетнего периода.

В файле текущей информации на каждые расчетные сутки задаются данные о среднесуточных метеоусловиях на четырех метеостанциях (в городах Елабуге, Сарапуле, Бирске и Мензелинске), расположенных в непосредственной близости к водохранилищу (рис. 4.53). Приток воды к водохранилищу по основным рекам и с боковых водосборов отсеков задается по результатам расчетов модели формирования стока ЕСОМАГ.

Гидрологическая информация сопровождается данными о характеристиках качества воды (ХКВ) каждого потока, поступающего в расчетный отсек. ХКВ р. Камы задавались по результатам сплайновой интерполяции их среднемесячных значений, полученных по наблюдениям в нижнем бьефе Воткинского гидроузла в 1986–2001 гг. Для задания ХКВ боковой приточности к отсекам и основных рек использовались результаты расчетов химического состава воды по модели формирования стока на водосборе водохранилища.

Расчетная информация

В гидрологическом блоке модели рассчитывается трансформация метеоэлементов над водной поверхностью, водный баланс и изменение уровня воды в водохранилище, теплообмен с атмосферой и грунтами дна, динамика снежно-ледяного покрова и распределение поступающей

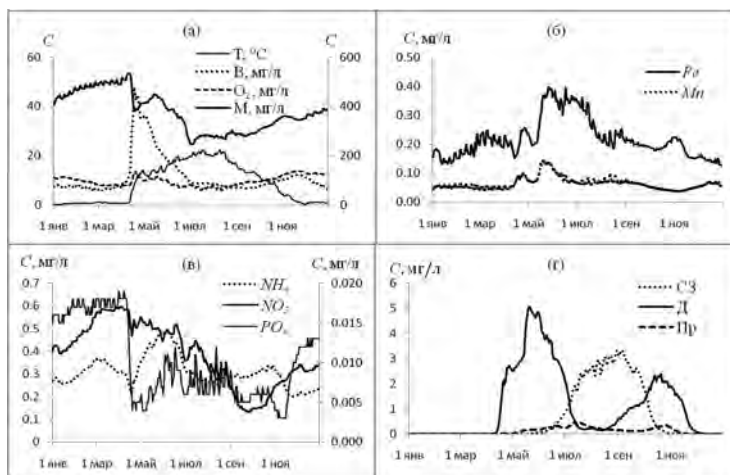


Рис. 4.56. Изменения концентраций (С) ХКВ в нижнем бьефе Нижнекамского гидроузла в 2012 г.: а) температура (Т), минерализация (М), содержание взвеси (В) и растворенного кислорода (O₂); б) железо (Fe) и марганец (Mn); в) аммоний (NH₄), нитраты (NO₃) и фосфаты (PO₄); г) синезеленые (СЗ), диатомовые (Д) и прочие (Пр) виды фитопланктона

солнечной радиации по глубине расчетных отсеков. Расчеты выполняются на основе методик, подробно изложенных в [Руководство по гидрологическим..., 1983].

В экологическом блоке выполняется расчет трансформации неконсервативных характеристик, концентрации которых изменяются под влиянием комплекса физико-химических, химических и биохимических процессов. В алгоритме блока предусмотрен расчет следующих ХКВ: биомассы трех групп фитопланктона (холодолюбивых диатомовых, сине-зеленых и прочих видов), растворенного кислорода, содержания фосфатного, аммонийного и нитратного ионов, нестойкого (легко окисляемого) и стойкого органического вещества, зоопланктона, ихтиофауны, детрита, концентрации минеральной и органической взвеси. Расчеты проводятся по уравнениям баланса массы в соответствии с концептуальными схемами взаимосвязей этих переменных в водной экосистеме [CE-QUAL-R1..., 1986].

Из биогенных веществ моделируется режим наиболее важных для развития фитопланктона элементов: фосфора, азота и кремния. Фосфор представлен в виде фосфат-ионов (PO₄³⁻), азот – в виде ионов аммония (NH₄⁺), нитратов и нитритов (NO₂⁻ и NO₃⁻). В питании водорослей аммонийная форма рассматривается как наиболее предпочтительная [Даценко, 2007].

При расчете содержания в боксах модели биогенных веществ учитываются следующие процессы: их потребление фитопланктоном, разло-

жение детрита, нестойкого и стойкого ОВ, дыхание фитопланктона, зоопланктона и рыб, вынос из донных отложений при анаэробных условиях, нитрификация и денитрификация, сорбция и соосаждение. Процессы сорбции описываются классической кинетикой Ленгмюра. Изменение концентрации кремния в водоеме определяется продуктивностью диатомовых водорослей.

Из других элементов, связанных с биохимическими процессами в водоеме, моделируется режим марганца, железа, серы, неорганического углерода, диоксида углерода и ионов водорода.

Минеральные азот и фосфор накапливаются в донных отложениях в результате разложения детрита и седиментации взвеси и удаляются из них в анаэробных условиях.

Растворенные в воде ОВ подразделяются на биохимически стойкие и биохимически нестойкие, различающиеся скоростью разложения.

Результаты моделирования

Модель была использована для диагностических, прогностических и сценарных гидроэкологических расчетов. Валидация ГМВ–МГУ проводилась по результатам расчетов гидрологического режима многих водохранилищ, но наиболее детально она была выполнена на подмосковных водохранилищах, количество данных наблюдений на которых позволяло получить оценки качества модельных расчетов по статистическим критериям. Для большинства анализируемых ХКВ качество расчета соответствовало оценке «удовлетворительно» [Гидроэкологический режим..., 2015].

Результаты расчета всех ХКВ выдавались на каждые сутки в виде их вертикального распределения в отсеках по продольной оси лопастей водоема. Кроме того, модель позволяет рассчитывать значения ХКВ в нижнем бьефе водохранилища, что чрезвычайно важно для оценки влияния водохранилища на трансформацию качества воды в нем. В качестве примера на *рис. 4.56* показан ход изменения значений ХКВ в нижнем бьефе Нижнекамского гидроузла в 2012 г.

4.3.3 3D-моделирование гидрофизических и химико-биологических процессов в Куйбышевском водохранилище

Куйбышевское водохранилище – самое крупное на р. Волге, третье в мире по площади и крупнейшее в Европе. Оно создано в 1955 г. после завершения строительства плотины Жигулёвской ГЭС, перегородившей долину Волги у г. Тольятти. Длина водохранилища по р. Волге – 467 км и р. Каме – 280 км. Максимальная ширина ~26 км (в районе Камского Устья), средняя глубина 9,3, наибольшая – 41 м (плотина Волжской ГЭС). Общая протяженность береговой линии – 2604 км. Площадь водного зеркала –

6,45 тыс. км². Основное назначение водохранилища – сезонное регулирование стока, выработка электроэнергии, улучшение судоходства, водоснабжение, ирригация.

Структура модели

Ввиду большой площади акватории Куйбышевского водохранилища, наличия в нем участков с сильной изрезанностью береговой линии гидрофизические и химико-биологические процессы в нем имеют ярко выраженную пространственно-временную неоднородность. Для корректного воспроизведения процессов в экосистеме Куйбышевского водохранилища, включая процессы формирования биогенной нагрузки, необходимо применение 3D-подхода (трехмерного), который изначально получил применение в метеорологии и океанологии, а затем и в гидрологии. Подробное описание истории применения 3D-подхода в моделировании разнотипных пресноводных водоемов приведено в монографии [Меншуткин, Руховец, Филатов, 2013].

В последние годы большое распространение (по крайней мере, в Российской Федерации) получила математическая модель гидродинамики внутреннего моря (МГВМ), разработанная в Институте вычислительной математики РАН [Ибраев, 2008]. Модель прошла успешную апробацию при моделировании термогидродинамического режима Каспийского моря. Для дискретизации уравнений гидродинамики здесь применяется метод конечных объемов (МКО). Отправная точка МКО – интегральная формулировка законов сохранения массы, импульса, энергии и др. Балансовые соотношения записываются для небольшого контрольного объема; их дискретный аналог получается суммированием по всем граням выделенного объема потоков массы, импульса. Поскольку интегральная формулировка законов сохранения не налагает ограничений на форму контрольного объема, МКО пригоден для дискретизации уравнений гидродинамики как на структурированных, так и на неструктурированных сетках с различной формой ячеек, что, в принципе, полностью решает проблему сложной геометрии расчетной области [Смирнов, Зайцев, 2004].

Циркуляция морских вод в бассейне произвольной геометрии описывается трехмерными уравнениями термогидродинамики. Поверхность раздела <воздух – вода> свободная, воспроизводятся пространственная изменчивость топографии поверхности моря и изменчивость среднего уровня моря. Взаимодействие атмосферы и моря описывается через потоки импульса, тепла и влаги. При возникновении условий, благоприятных для формирования льда, включается модель льда, описывающая термодинамические процессы во льду (и изменение температуры, намерзание, таяние). В модели явным образом описываются потоки воды и ее свойств (соленость, теплосодержание) через боковые границы (сток рек и обмен через проливы) и поверхность раздела <воздух – вода> (и спарение, осадки). В случае моделирования областей с открытыми границами на них ставятся условия излучения.



Рис. 4.57. Блок-схема модифицированной модели МГВМ

Термодинамическое состояние внутреннего моря описывается трехмерными функциями температуры, солёности, компонентом скорости течений, а также двухмерной функцией высоты поверхности уровня внутреннего моря. Модель включает трехмерные полные уравнения геофизической гидротермодинамики.

Адаптация модели для Куйбышевского водохранилища

Модель МГВМ адаптирована для использования в условиях пресноводного водоема Куйбышевского водохранилища. В частности, для учета наличия у пресной воды температуры максимальной плотности уравнение состояния морской воды заменено на квадратичное уравнение состояния слабоминерализованной воды [Chen, Millero, 1986]. Выполнены соответствующие работы по построению расчетной сетки для Куйбышевского водохранилища, параметры которой составили 170×302 узла по горизонтали и 8 уровней по вертикали. Для описания химико-биологических процессов гидротермодинамическая часть модели была дополнена уравнениями, описывающими сезонную динамику фитопланктона, седиментацию ОВ на поверхность донных отложений, захоронение и минерализацию ОВ, механическую ресуспензию верхнего слоя донных осадков и т.д. На *рис. 4.57* представлена блок-схема модифицированной модели, которая использовалась для расчетов гидрофизических и химико-биологических параметров Куйбышевского водохранилища.

Кроме поступления биогенных элементов со стоком Волги и сбросами Нижнекамского гидроузла в расчетах экологического состояния Куйбышевского водохранилища учитывалась биогенная нагрузка, сформированная на водосборе. Для ее количественной оценки использовалась

модель ILLN (Institute of Limnology Load Model) [Кондратьев, Шмакова, 2019]. Согласно принятой в модели схеме расчета основными составляющими внешней нагрузки валовых форм азота N и фосфора P на водный объект являются рассредоточенная эмиссия биогенных элементов подстилающей поверхностью, не подверженной в настоящее время сельскохозяйственному воздействию, нагрузка, сформированная в результате сельскохозяйственной деятельности, сброса точечных источников загрязнения в гидрографическую сеть водосбора и непосредственно в водоем-приемник, а также массообмен с атмосферой. Результаты расчетов поступления биогенных элементов в водохранилище с водосборной территории для условий средней водности представлены в *табл. 4.1* [Поздняков и др., 2019].

Таблица 4.1

Количественная оценка биогенной нагрузки на Куйбышевское водохранилище с правобережной части водосбора (площадь – 30878 км², средний слой стока 74 мм/год) и с левобережной части (площадь – 60207 км², средний слой стока 125 мм/год)

Результаты расчета	N	P
Правобережная нагрузка на Куйбышевское водохранилище (т/год)	10800	468
Природная (фоновая) составляющая	567	22,3
Диффузная (антропогенная) составляющая	10200	445
Модуль выноса (кг/км ² год)	351	15,2
Левобережная нагрузка на Куйбышевское водохранилище (т/год)	29700	1030
Природная (фоновая) составляющая	2710	79,0
Диффузная (антропогенная) составляющая	25400	918
Модуль выноса (кг/км ² год)	494	17,1

Результаты моделирования

С целью проверки адекватности модели реальным процессам выполнен ряд численных экспериментов по расчету гидротермодинамических и химико-биологических характеристик Куйбышевского водохранилища за период с 2012 по 2015 г.

В качестве примера моделирования растворенной консервативной примеси выбрана общая минерализация. Химический состав водных масс Куйбышевского водохранилища на 90–95% определяется составом вод двух основных его притоков – рек Волги и Камы [Куйбышевское водохранилище, 1983]. При этом общая минерализация вод притоков различается почти в два раза: средняя минерализация в Каме составляет 0,42 кг/м³, в Волге – 0,24 кг/м³. Именно спецификой смешения вод этих притоков в различные сезоны года и определяется общая минерализация во всем водохранилище.

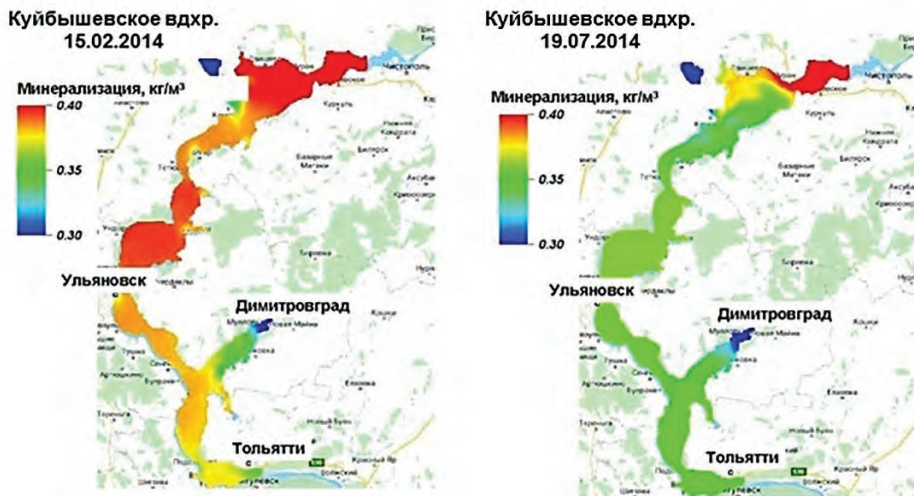


Рис. 4.58. Пространственное распределение общей минерализации в Куйбышевском водохранилище в зимний период и в середине лета

На рис. 4.58 представлены результаты моделирования пространственного распределения общей минерализации в Куйбышевском водохранилище в период ледостава и в период открытой воды. Из рисунков видно, что распределения минерализации в водохранилище в эти периоды радикально различаются, что обусловлено факторами, влияющими на процесс смешения вод Волги и Камы в различные сезоны года. В зимний период в отсутствие прямого воздействия атмосферных процессов – в основном ветрового перемешивания водных масс – распространение вод притоков обусловлено главным образом бароклинными факторами. При этом смешение водных масс происходит на протяжении всего Волжско-Камского плеса до значений $0,37\text{--}0,38\text{ кг/м}^3$. В летний период картина меняется. Под воздействием интенсивного ветрового воздействия воды Волги и Камы перемешиваются по всей глубине водоема до значений, близких к $0,35\text{ кг/м}^3$. В дальнейшем эта величина общей минерализации сохраняется на всем протяжении водохранилища вплоть до Приплотинного плеса.

На рис. 4.59 представлены результаты моделирования пространственного распределения общей биомассы фитопланктона в Куйбышевском водохранилище в течение вегетационного периода 2014 г. Распределение концентраций водорослей в начале сезона вегетации определяется в основном температурными различиями в разных частях акватории водохранилища. Так, максимальные значения биомассы наблюдаются в устьях притоков и вдоль береговых мелководий, где после окончания периоды ледостава температура воды выше. В середине лета отчетливо просматриваются максимальные величины биомассы водорослей в мелководных, хорошо прогретых плесах водохранилища. Дело в том, что

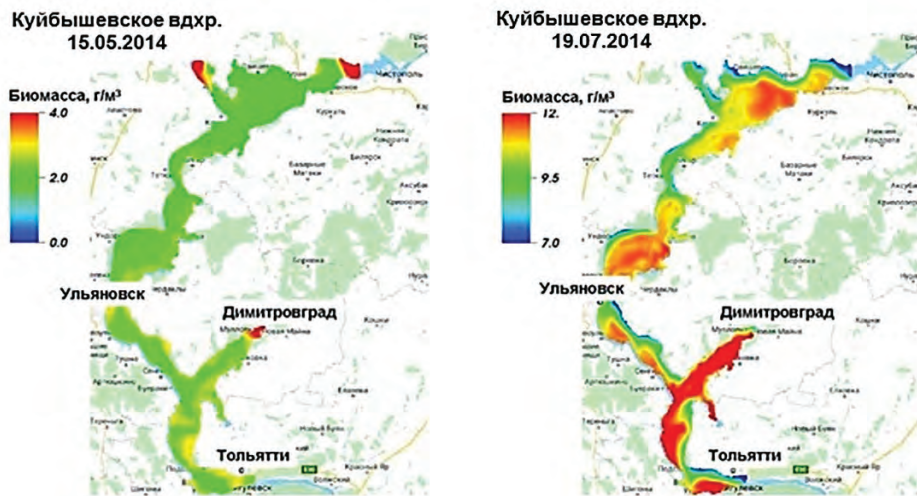


Рис. 4.59. Пространственное распределение общей биомассы фитопланктона в Куйбышевском водохранилище в начале вегетационного периода и в середине лета

Куйбышевское водохранилище – эвтрофный водоем, поэтому при отсутствии лимитирования развития фитопланктона биогенными элементами особое влияние оказывают другие факторы, включая температуру воды. В частности, это относится к Черемшанскому заливу, который считается наиболее продуктивным районом водохранилища [Экология фитопланктона..., 1989].

Таким образом, для информационной поддержки принятия управленческих решений в области рационального использования, охраны и восстановления экосистем водохранилищ разработан Информационно-моделирующий комплекс, предусматривающий последовательную реализацию трех математических моделей системы Водосбор Нижнекамского водохранилища – Нижнекамское водохранилище – Куйбышевское водохранилище. Расчет в системе ведется последовательно, начиная с модели водосбора, в качестве которой используется физико-математическая модель формирования стока ECOMAG. Входная информация этой модели – характеристики водосбора Нижнекамского водохранилища, метеоинформация и характеристики антропогенной нагрузки на территорию водосбора. Результаты модельных расчетов гидрологического и гидрохимического блоков модели – гидрографы притока воды и поступления ЗВ с водосбора в Нижнекамское водохранилище с суточным шагом по времени.

Расчеты на водосборе дают входную информацию для модели ГМВ–МГУ. Эта двумерная продольно-вертикальная модель позволяет рассчитывать ежесуточные изменения различных химических и биологических

переменных, определяющих качество воды и продукционные характеристики экосистемы водохранилища в зависимости от гидрометеорологических условий конкретного года. В режиме реального времени модель позволяет проследить распределение концентраций химических веществ и биомасс гидробионтов в Нижнекамском водохранилище и ежедневные изменения этих показателей в сбросе воды, т.е. в нижнем бьефе водохранилища.

Сбросы Нижнекамского гидроузла в значительной степени определяют экологическое состояние нижележащего Куйбышевского водохранилища. Поэтому результаты расчетов качества воды в сбросах Нижнекамского гидроузла представляются важной входной информацией для реализации расчетов по трехмерной гидроэкологической модели Куйбышевского водохранилища, разработанной в Институте озероведения РАН на базе модели гидродинамики внутреннего моря. Эта последняя модель системы позволяет отслеживать процессы формирования качества воды, распространения химических веществ и биомассы фитопланктона в Куйбышевском водохранилище.

Таким образом, представленный комплекс моделей может оперативно получать информацию о гидрологическом режиме и динамике показателей качества воды и загрязнений в системе водосбор–водохранилище с учетом их каскадного положения, т.е. с учетом трансформации качества воды в различных ступенях каскада.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абдрахманов Р.Ф., Чалов Ю.Н., Абдрахманова Е.Р.* Пресные подземные воды Башкортостана. – Уфа: Информреклама, 2007. – 184 с.
2. *Авакян А.Б., Бойченко В.К., Салтанкин В.П.* Некоторые вопросы рекреационного использования водохранилищ // Водные ресурсы. –1986. – №3. – С.77–84.
3. *Авакян А.Б., Бойченко В.К., Салтанкин В.П.* Рекреационное использование водных объектов Московской области (состояние, проблемы, перспективы) // Водные ресурсы. – 1983. – №4. – С. 125–133.
4. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов [Электронный ресурс]. – 2020. – URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения: 10.04.2020).
5. Автомобильные дороги и мосты: противогололедные материалы для борьбы с зимней скользкостью на автомобильных дорогах и городских улицах. / ФГУП «Информационный центр по автомобильным дорогам». Обзорная информация. – М., 2006.
6. Агрохимия. – М.: Агропромиздат, 1989. – 498 с.
7. *Анспек П.И., Штиканс Ю.А., Визла Р.Р.* Справочник агрохимика Нечерноземной полосы. – Л.: Колос, 1981.
8. Архив фактической погоды. Сайт Гидрометеоцентра РФ [Электронный ресурс]. 2020. – URL: meteoinfo.ru (дата обращения: 10.04.2020).
9. Атлас единой глубоководной системы Европейской части РФ. Т. 10. Река Белая. От реки Уфа до устья. – Пермь: Администрация Волго-Балтийского бассейна, 2017. – 120 с.
10. Атлас единой глубоководной системы Европейской части РФ. Т. 9. Ч. 2. Река Кама. От города Чайковский до устья реки Вятка. – Пермь: Администрация Волго-Балтийского бассейна, 2016. – 74 с.
11. Атлас Республики Башкортостан / Под ред. И.М. Япарова. – Уфа: Китап, 2005. – 419 с.
12. *Барымова, Н.А.* Состав поверхностного стока с городской территории и качество речных вод / Н.А. Барымова, Е.П. Чернышев. – В кн.: Взаимодействие хозяйства и природы в городских и промышленных геосистемах. – М., 1982. – С. 31–45.

13. *Башкин В.Н.* Вымывание азота и фосфора природными водами. // В кн.: Круговорот и баланс азота в системе почва-удобрение-растение-вода. – М., Наука. 1979. – С. 294–296.
14. *Бегич Я.Э., Шерстобитова П.А., Морина Е.А., Макаров А.И.* Методы управления источниками поверхностного стока в странах Европы и возможность их применения в Санкт-Петербурге // Строительство уникальных зданий и сооружений, 2018. – № 2 (65). – С. 59–76.
15. *Беличенко Ю. П., Бирюкова И.В.* Об учете поверхностного стока с селитебных территорий при решении водоохраных задач // Отведение и очистка поверхностных сточных вод. – М.: Стройиздат, 1983. – С. 14–19.
16. *Беличенко Ю.П., Швецов М.М.* Рациональное использование и охрана водных ресурсов. – М.: Россельхозиздат, 1986.
17. *Бикбулатов Э.С., Бикбулатова Е.М., Литвинов А.С., Поддубный С.А.* Гидрология и гидрохимия оз. Неро. – Рыбинск: Изд-во ОАО «Рыбинский дом печати», 2003. – 192 с.
18. *Бихеле З.Н., Молдау Х.А., Росс Ю.К.* Математическое моделирование транспирации и фотосинтеза растений при недостатке почвенной влаги. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – С. 217.
19. *Блоков И.П.* Окружающая среда и ее охрана в России. Изменения за 25 лет. – М.: Совет Гринпис, 2018. – 432 с.
20. *Бобровицкая Н.Н.* Исследование и расчет смыва почвы со склонов // Сб. работ по гидрологии. № 12. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – С. 93–99.
21. *Бреховских В.Ф., Волкова З.В., Вишневская Г.Н.* Изменение элементов экосистем в подводных карьерах для добычи нерудных строительных материалов // Водные ресурсы. – 1998. – Т.25, №4. – С. 448–454.
22. *Брюханов А.Ю.* Алгоритм оценки и выбора машинных технологий с учетом показателей экологической устойчивости сельских территорий // Брюханов А.Ю., Шалавина Е.В, Эрк А.Ф. и др. Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – СПб.: ИАЭП, 2018. – № 97. – С. 215–227.
23. *Брюханов А.Ю.* Опыт освоения наилучших доступных технологий утилизации помета в Ленинградской области // А.Ю. Брюханов, Р.А. Уваров, И.А. Субботин. Птица и птицепродукты. – 2018. – № 3. – С. 26–260.
24. *Брюханов А.Ю.* Оценка сельскохозяйственной биогенной нагрузки, сформированной на речных водосборах бассейна Куйбышевского водохранилища / А.Ю. Брюханов, С.А. Кондратьев, Э.В. Васильев и др. //

- Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – СПб.: ИАЭП. – 2018. – № 96. – С. 175–186.
25. *Брюханов А.Ю.* Решение проблем утилизации отходов жизнедеятельности птицы / А.Ю. Брюханов, Э.В. Васильев, Е.В. Шалавина // Птица и птицепродукты. – 2018. – № 3. – С. 21–24.
 26. *Брюханов А.Ю., Кондратьев С.А., Обломкова Н.С., Огуздин А.С., Субботин И.А.* Методика определения биогенной нагрузки сельскохозяйственного производства на водные объекты // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2016. – № 89. – С.175–183.
 27. *Брюханов А.Ю., Уваров Р.А.* Математическая модель технологии ускоренного компостирования отходов животноводства в биоферментационных установках закрытого типа // Известия КГТУ. – 2016. – № 41. – С. 137–147.
 28. *Будаговский А.И., Ничипорович А.А., Росс Ю.К.* Количественная теория фотосинтеза и ее использование для решения научных и практических задач физической географии // Изв. АН СССР, серия: география. – 1964. – №6. – С.13–27.
 29. *Будаговский А.И., Росс Ю.К.* Основы количественной теории фотосинтетической деятельности посевов // В кн.: «Фотосинтезирующие системы высокой продуктивности». – М.: Наука, 1966. – С. 51–58.
 30. *Бульская, И. В., Волчек, А. А.* Сток с урбанизированных территорий и его очистка: ил // Вестник БГТУ. Сер. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2013. – №2. – С. 88–92.
 31. *Вавилин В.А., Васильев В.Б., Рытов С.В.* Моделирование деструкции органического вещества сообществом микроорганизмов. – М.: Наука, 1993. – 208 с.
 32. *Василевич М.И., Габов Д.Н., Безносиков В.А., Кондратенко Б.М.* Органическое вещество снежного покрова в зоне влияния выбросов целлюлозно-бумажного предприятия // Водные ресурсы. – 2009. – №3.
 33. *Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д.* Мониторинг загрязнения снежного покрова. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 184 с.
 34. *Веницианов Е.В., Кирпичникова Н.В.* Современные экологические проблемы Иваньковского водохранилища – источника водоснабжения г. Москвы // Экология речных бассейнов: Труды 8-й Междунар. науч.-практ. конф. – Владимир: Араим, 2016. – С. 325–330.

35. *Вишневецкий В.Ю., Попружный В.М.* Оценка влияния содержания марганца в природной воде на здоровье человека в районах водозаборов города Таганрога // *Инженерный вестник Дона.* – 2015. – № 4. – 15 с.
36. Влияние водного фактора на здоровье человека // *Экологический вестник России.* – 2002. – №6. – С. 53–60.
37. ВНТП–К–97 (Ведомственные нормы технологического проектирования канализации сельских населенных пунктов и фермерских хозяйств), 1997.
38. Водные ресурсы и водное хозяйство России в 2009 году (Статистический сборник) / Под ред. Н.Г. Рыбальского и А.Д. Думнова. – М.: НИА-Природа, 2010. – 272 с.
39. Водные ресурсы и водное хозяйство России в 2018 году (Статистический сборник) / Под ред. Н.Г. Рыбальского, В.А. Омеляненко. – М.: НИА-Природа, 2019. – 274 с.
40. *Возбуцкая А.Е.* Химия почвы. – М.: Высшая школа, 1968. – 450 с.
41. *Волкова З.В., Бреховских В.Ф.* Экологические последствия при дночерпательных работах на водоемах // *Современные проблемы водохранилищ и их водосборов.* – Т. II. – Химический состав и качество воды. – Пермь, 2011. – С. 33–38.
42. *Волкова Э.Г., Песочинский В.Н.* Влияние дноуглубления на окружающую водную среду // *Гидромеханизация и проблемы окружающей среды.* Тезисы докл. Всесоюзн. научно-техн. конф. – М., 1981.
43. *Воропаева Т.В.* Экологический каркас речного бассейна как перспективная стратегия сохранения биоразнообразия. // *Естественные и технические науки.* – 2010. – № 6 (50). – С. 376–381.
44. Всероссийская сельскохозяйственная перепись – 2016. Итоги. [Электронный ресурс]. – 2020. – URL: <https://nizhstat.gks.ru/folder/31055> (дата обращения: 10.04.2020).
45. Геопортал Геологической службы США (Geportal of the US Geological Survey)[Электронный ресурс]. – 2020. –URL: earthexplorer.usgs.gov (дата обращения: 10.04.2020).
46. Гидрологическая изученность. Средний Урал и Приуралье. –Том 11, вып.1. – Кама. – Л.: Гидрометеиздат, 1966.
47. Гидроэкологический режим водохранилищ Подмосковья (наблюдения, диагноз, прогноз) / Под ред. К.К. Эдельштейна. – М.: Перо, 2015. – 286 с.

48. *Гинзбург К.Е.* Фосфор основных типов почв. – М.: Наука, 1981. – 242 с.
49. ГН 2.1.7.2041–06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. Доступно по ссылке: <http://docs.cntd.ru/document/901966754>.
50. *Голосов В.Н.* Эрозионно-аккумулятивные процессы в верхних звеньях флювиальной сети освоенных равнин умеренного пояса / Автореф. дис. докт. геогр. наук. – М.: МГУ, 2003. – 45 с.
51. *Гордин И.В., Кирпичникова Н.В.* Влияние неконтролируемых сточных вод на эффективность программ водоохранного строительства // Инженерное обеспечение. – 1992. – №7.
52. *Гордин И.В., Кирпичникова Н.В.* Динамика загрязнения Верхней Волги талым стоком городских территорий // Водные ресурсы. – 1990. – № 2. – С. 37–42.
53. *Гордин И.В., Кирпичникова Н.В.* Идентификация неконтролируемых залповых поступлений сточных вод в нестационарном потоке // Химия и технология воды. – 1990. – № 11. Т. 12. – С. 967–973.
54. *Гордин И.В., Кирпичникова Н.В., Куприянова Е.И., Харитонов В.А.* Мониторинг застройки водоохранных зон. Сб. докладов «Водоохранные зоны: опыт практического применения и целесообразность развития». – Москва. 2006. – С. 45–49.
55. *Гордин И.В., Кирпичникова Н.В.* Сравнительная оценка экологической опасности поверхностных стоков с промышленных площадок и городских территорий/ Промышленная энергетика. – 1993. – № 1. – С. 32–37.
56. *Гордин И.В., Кирпичникова Н.В., Лахтюк Р.А.* Динамика загрязнения Верхней Волги талым стоком городских территорий // Водные ресурсы. – 1990. – № 2. – С. 37–42
57. *Гордин И.В.* Технологические системы водообработки. Динамическая оптимизация. — Л. Химия. – 1987. – 264 с.
58. Государственные доклады «О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2005–2016 гг.». Уфа, 2006–2017 гг.
59. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2016 году». – М.: НИА-Природа, 2017а. – 300 с.
60. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2018 году». – М.: НИА-Природа, 2019а. – 290 с.

61. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году». – М.: Минприроды России; НПП «Кадастр». – 2019б. – 844 с.
62. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 году». – М.: Минприроды России; НИА-Природа. – 2017б.
63. *Григорьева И.Л., Ермолаев В.В., Каманина И.З., Никитинская Т.Н.* Экологические аспекты развития рекреации на Ивановском водохранилище и в его береговой зоне // Материалы Второй всеросс. науч.-практ. конф. «Туризм и устойчивое развитие регионов». – Тверь, 2005. – С. 73–76.
64. *Григорьева И.Л., Ланцова И.В., Тулякова Г.В.* Геоэкология Ивановского водохранилища и его водосбора. – Конаково, 2000. – 248 с.
65. *Григорьева И.Л., Чекмарева Е.А.* Влияние рекреационного водопользования на качество воды Ивановского водохранилища // Известия РАН. Серия географическая. – 2013. – №3. – С. 63–70.
66. *Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С.* Потребление воды: экологический, экономический, социальный и политический аспекты. – М.: Наука, 2006. – 221 с.
67. *Даценко Ю.С.* Эвтрофирование водохранилищ. Гидролого-гидрохимические аспекты. – М.: ГЕОС, 2007. – 252 с.
68. *Дебольский В.К.* Волжские берега/ Экология и жизнь. – 2000. – № 1. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа:<http://www.ecolife.ru/journal/ereg/2000-1-3.shtml>
69. *Девяткова Т.П., Лепихин А.П.* Применение кондуктометрического метода изучения трансформации сточных вод в Камском водохранилище // Сб. «Гидрологии и метеорология». – Вып.6. – Пермь, 1971. – С. 80–86.
70. *Демин А.П.* Использование водных ресурсов России: современное состояние и перспективные оценки: автореф. дис. д-ра геогр. наук. – М., 2011. – 48 с.
71. *Демин А.П., Исмайылов Г.Х.* Водопотребление и водоотведение в бассейне Волги // Водные ресурсы. – 2003. – Т. 30, №3. – С. 366–380.
72. *Джексон П.* Введение в экспертные системы. – М.: Вильямс, 2001. – 624 с.
73. *Джонстон А.Е., Саейрс Дж. К.* Новый подход к оценке эффективности использования фосфора из удобрений в сельском хозяйстве / Питание растений. – 2013. – № 4. – С. 5–9.

74. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России [Электронный ресурс]. – 2014. – URL: <http://egrpr.soil.msu.ru/index.php> (дата обращения: 10.04.2020).
75. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России [Электронный ресурс]. – URL: <http://atlas.mcx.ru/materials/egrpr/content/1DB.html> (01.05.2019).
76. Ежегодник «Качество поверхностных вод Российской Федерации в 2016». – ГХИ, Ростов-на-Дону, 2017.
77. *Елизаров А.В.* Экологический каркас – стратегия степного природопользования XXI века // *Степной бюллетень*. – 1998. – Вып. 2–4. – С. 11–13.
78. *Желязко В.И., Захарова О.А., Кирейчева Л.В.* Утилизация сточных вод и животноводческих стоков. – М.: Эдель-М, 2002. – 178 с.
79. Зоны и типы поясности растительности России и сопредельных территорий. Карта масштаба 1:8 000000 / Отв. ред. Г.Н. Огуреева. – М.: Изд-во МГУ, 1999.
80. *Ибраев Р.А.* Математическое моделирование термогидродинамических процессов в Каспийском море. – М.: ГЕОС, 2008. 127 с.
81. Ивановское водохранилище: современное состояние и проблемы охраны. – М.: Наука, 2000. 344 с.
82. Инструкция по определению расчетных гидрологических характеристик при проектировании противозрозионных мероприятий на европейской территории СССР. – Л.: Гидрометиздат, 1979. – С. 62.
83. Интернет-портал Агентства окружающей среды США. 2020. [Электронный ресурс]. Доступно по ссылке: <https://www.epa.gov/nps/319-grant-program-states-and-territories>.
84. Интернет-портал Департамента защиты окружающей среды Флориды. 2020. [Электронный ресурс]. Доступно по ссылке: <https://floridadep.gov/wra/319-tmdl-fund/content/nonpoint-source-pollution-education>.
85. Интернет-портал департамента сельского хозяйства США (1). [Электронный ресурс]. Доступно по ссылке: <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/national/programs/financial/eqip/?cid=stelprdb1047761>
86. Интернет-портал департамента сельского хозяйства США (2). [Электронный ресурс]. Доступно по ссылке: <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/national/programs/financial/eqip/#>.
87. Информационные материалы Европейской комиссии по нитратам, например: *Water. The EU Nitrates Directive, January, 2010.*

88. Информация об особо охраняемой природной территории. [Электронный ресурс]. URL: <http://oopt.aari.ru/oopt/%D0%9E%D0%B7%D0%B5%D1%80%D0%BE-%D0%9D%D0%B5%D1%80%D0%BE> (дата обращения 15.04.2020).
89. *Калугин А.С., Мотовилов Ю.Г.* Модель формирования стока для бассейна р. Амур // Водные ресурсы. – Т.45, № 2. – 2018. – С. 121–132.
90. Канализация. Наружные сети и сооружения (с Изменением N 1). СНИП 2.04.03-85 [Электронный ресурс]. – 2010. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/5200017> (дата обращения: 18.07.2020).
91. *Карпушенко А. В., Полянин В. О.* Влияние хозяйственной деятельности на санитарно-экологическое состояние источников питьевого водоснабжения г. Москвы // Водоснабжение и санитарная техника. – 2014. – № 10.
92. Качество поверхностных вод Российской Федерации. Информация о наиболее загрязненных водных объектах Российской Федерации (Приложение к ежегодникам 2010–2017 гг.) / Гл. ред. А.М. Никаноров. – Ростов-на-Дону: ГХИ, 2011–2018.
93. *Кирпичникова Н.В., Курбатова И.Е.* Динамика нарастания неконтролируемой антропогенной нагрузки на береговые зоны источников водоснабжения: разработка методов геоэкологического мониторинга // Сб. докладов Всерос. науч.-практ. конф. «Водные ресурсы России: современное состояние и управление». Сочи, 2018. 8–14 октября. –Том 1. Новочеркасск: Лик. – С. 284–291.
94. *Кирпичникова Н.В.* Мониторинг источников загрязнения водных объектов // В кн.: Научные основы создания систем мониторинга качества природных поверхностных вод. – М.: Научный мир, 2016. – С. 183–212.
95. *Кирпичникова Н.В.* Исследование неконтролируемых источников загрязнения (на примере Ивановского водохранилища): автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М.: ИВП АН СССР. – 1991. – 26 с.
96. *Кирпичникова Н.В.* Неконтролируемые источники загрязнения // Ивановское водохранилище. Современное состояние и проблемы охраны. – М.: Наука, 2000. – С. 36–62.
97. *Кирпичникова Н.В., Курпьянова Е.И.* Экологическое состояние водоохранной зоны Ивановского водохранилища и современные подходы к его регулированию // Изв. АН. Сер. геогр. – 2003. –№6. – С.77–84.
98. *Кирпичникова Н.В., Полянин В.О.* Особенности организации мониторинга диффузного загрязнения природных вод // Научные проблемы оздоровления Российских рек и пути их решения. Сборник научных трудов. – М.: Студия Ф1, 2019.

99. *Китаев Л. М.* Движение химических соединений в системе «атмосфера-поверхностный сток» в условиях города // Изв. АН. Сер. География. – 1993. – № 6. – С. 111–114.
100. *Китаев Л. М.* Закономерности миграции химически соединений с поверхностным стоком на городских территориях // Проблемы экоинформатики. – М.: ИРЭ РАН. 1992. – С. 53–58.
101. *Козлова М. А., Кирпичникова Н. В., Фащевская Т. Б., Полянин В. О., Бородин О. О.* Разработка прототипа экспертной системы поддержки принятия решений по оптимизации мероприятий, направленных на охрану водных объектов от диффузного загрязнения (на примере бассейна р. Волги) // Водные ресурсы. – 2020. – Т. 47, № 5. – С. 546–559.
102. *Кокуричева М. П. и др.* Влияние взвешенных веществ при добыче песка на водные организмы // Гидромеханизация и проблемы охраны окружающей среды. Тезисы докл. Всесоюзн. научно-техн. конф. – М., 1981.
103. Комплексное использование и охрана водных ресурсов / Под. ред. О. Л. Юшманова. – М.: Агропромиздат, 1985.
104. *Кондратьев С. А.* Формирование внешней нагрузки на водоемы: проблемы моделирования. – СПб.: Наука, 2007. – 253 с.
105. *Кондратьев С. А., Брюханов А. Ю., Терехов А. В.* Структура поверхности водосбора как определяющий фактор биогенной нагрузки на водоем (по данным математического моделирования) // Вопросы географии. – 2018. – № 145. – С. 89–108.
106. *Кондратьев С. А., Карпечко Ю. В., Шмакова М. В.* Влияние вырубок леса на сток и вынос биогенных элементов с лесных водосборов Карелии (по данным математического моделирования) // Гидрометеорология и экология. – 2020. – № 59. – С. 51–66.
107. *Кондратьев С. А., Шмакова М. В.* Математическое моделирование массопереноса в системе водосбор – водоток – водоем. – СПб.: Нестор-История, 2019. – 246 с.
108. *Коновалов Е. И.* Экологический каркас бассейна Белого озера / Вестник НСО. Сер. Физико-математические и естественнонаучные дисциплины / (гл. ред. М. А. Безнин). – Вологда, 2008. – Вып. 6. – С. 60–67.
109. *Корнева Л. Г.* Фитопланктон водохранилищ бассейна Волги. / Под ред. А. И. Копылова. – Кострома: Костромской печатный дом, 2015. – 284 с.
110. *Королев М. В., Власов А. Н., Остякова А. В., Лупанова И. А.* Угличское водохранилище. Переработка берегов. Мониторинг. Геомеханические исследования. – М.: ИПРИМ РАН; ООО «СамПолиграфист», 2017.

111. *Коронкевич Н.И.* Водный баланс Русской равнины и его антропогенные изменения. – М.: Наука, 1990. – 204 с.
112. *Кравченко Т.К.* Экспертная система поддержки принятия решений // Открытое образование. – 2010. – № 6. – С. 147–156.
113. *Красногорская Н.Н., Мусина С.А., Бреднева Т.О.* Анализ загрязненности и методов очистки ливневого стока урбанизированной территории // Безопасность жизнедеятельности. – М.: Изд-во «Новые технологии», 2015. – №11. – С. 3–10.
114. *Куваев А.А., Гончаренко Д.Б., Семенов М.Е.* Моделирование разгрузки высокоминерализованных подземных вод в реку в районе хвостохранилища // Математическое моделирование в гидрогеологии. – М.: АНО УКЦ «Изыскатель», 2008. – С. 44–45.
115. *Кузнецов В.К., Назаров В.Г., Шерман Э.Э.* Вынос фосфора с сельскохозяйственных полей весенним поверхностным стоком // Водные ресурсы. – 1981. – №5. – 77 с.
116. Куйбышевское водохранилище. – Л.: Наука, 1983. – 214 с.
117. *Кулешова М.Е.* Экологические каркасы // Охрана дикой природы. – 1999. – № 3 (14). – С. 25–30.
118. *Куликов Г.И.* Влияние сброса химической промышленности на минерализацию воды Камского водохранилища в районе г. Березники // Материалы всесоюзного совещания по вопросам эксплуатации Камского водохранилища. Вып. 2. – Пермь. – 1959. – С. 1–13.
119. *Курбатова И.Е.* Экологический каркас речного бассейна и его реконструкция как метод оптимизации природопользования / Государственное управление: Российская Федерация в современном мире. XII Международная конференция факультета государственного управления МГУ имени М.В. Ломоносова, 29–31 мая 2014 г.: Материалы. – М.: Инфра-М, 2015. – 599–604. – Режим доступа: [Электронный ресурс] <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=514674>
120. *Курганова И.Н., В.О. Лопес де Гереню, К. Ван Кессел, Сикс Й.* Влияние температуры и влажности на эмиссию N₂O из почв различного землепользования // Агрехимия. – 2009. – №2. – С. 50–59.
121. *Ланцова И.В., Григорьева И.Л., Тихомиров О.А.* Водохранилища как объект рекреационного использования. – Тверь: ТГУ, 2004. – 160 с.
122. *Ланцова И.В., Григорьева И.Л., Тихомиров О.А.* Геоэкологические проблемы рекреационного использования Иваньковского водохранилища // Водные ресурсы. – 2005. – Т.32, №1. – С. 115–122.

123. *Ларионова А.А., Котева Ж.В., Розанова Л.Н., Кудеяров В.Н.* Влияние азотных удобрений на разложение целлюлозы в зависимости от отношения C/N в почве // Почвоведение. – 1994. – №9. – С. 55–60.
124. *Левшина С.И.* Распределение марганца в поверхностных водах среднего и нижнего Приамурья // Тихоокеанская геология. – 2012. – Т. 31, № 4. – С. 113–119.
125. *Лепихин А.П., Богомолов А.В., Любимова Т.П., Тиунов А.А., Паршакова Я.Н.* Особенности организации рассеивающих водовыпусков для отведения избыточных рассолов в водные объекты // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2016. – № 2. – С. 72–87.
126. *Лепихин А.П., Любимова Т.П., Паршакова Я.Н., Тиунов А.А.* К проблеме отведения избыточных рассолов в водные объекты предприятиями калийной промышленности // Водное хозяйство России: Проблемы, технологии, управление. – 2010. – № 3. – С. 57–74.
127. *Лепихин А.П., Мирошниченко С.А.* Особенности формирования техногенных воздействий на водные объекты Соликамско–Березниковского промузла // Водное хозяйство России: Проблемы, технологии, управление. – 2003. – № 5. – С. 411–439.
128. *Лесников Л.А.* Биологические аспекты проведения дноуглубительных работ // Сб. докладов и сообщений. Научно-техническая конференция по изучению влияния дноуглубления и отвалов грунта на окружающую среду. – Л.: Наука, 1975.
129. *Либерфорт Г.Б.* Судовые двигатели и судостроение. – Л.: Судостроение, 1979.
130. Лизиметрический метод исследования почв, 2013. – На интернет-портале: Земледелие от «А» до «Я»: <http://racechrono.ru/fizika-pochv/4102-lizimetriceskiy-metod-issledovaniya-pochv-chast-1.html> (дата обращения 05.02.2018).
131. *Любимова Т.П., Лепихин А.П., Паршакова Я.Н., Тиунов А.А.* Численное моделирование разбавления и переноса высокоминерализованных рассолов в турбулентных потоках // Вычислительная механика сплошных сред. – 2010. – № 5. – С. 68–79.
132. *Любимова Т.П., Лепихин А.П., Паршакова Я.Н., Циберкин К.Б.* Численное моделирование инфильтрации жидких отходов из хранилища в прилегающие грунтовые воды и поверхностные водоемы // Вычислительная механика сплошных сред. – 2015. – Т. 8, № 3. – С. 310–318.
133. *Майстренко В.Н., Хамитов Р.З., Будников Г.К.* Эколого-аналитический мониторинг суперэкотоксикантов. – М.: Химия, 1996. – 319 с.

134. *Мамай А.В.* Микробная трансформация соединений азота и углерода в лесных почвах Средней тайги (на примере Карелии). Дис. канд. биол. наук. – М., 2014. – 153 с.
135. *Масленникова И.С., Горбунова В.В.* Управление экологической безопасностью и рациональным использованием природных ресурсов. – СПб.: СПбГИЭУ, 2007. – 497 с.
136. Массивы данных метеовеличин для территории России, сайт Мирового центра данных [Электронный ресурс]. 2020. – URL: meteo.ru (дата обращения: 10.04.2020).
137. Математическое моделирование в программном комплексе MODFLOW. 2020 <https://www.waterloohydrogeologic.com/visual-modflow-classic-getting-started/>
138. Международный агроэкологический форум, 21–23 мая 2013 г., Санкт-Петербург [Текст] = International Agri-Environment Forum, 21–23 May, Saint Petersburg : материалы в трех томах / Российская акад. с.-х. наук, Северо-Западный региональный науч. центр Россельхозакадемии, Северо-Западный науч.-исслед. ин-т механизации и электрификации сельского хоз-ва Россельхозакадемии. – СПб.: СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии, 2013.
139. *Менишуткин В.В., Руховец Л.А., Филатов Н.Н.* Состояние и перспективы развития моделирования экосистем пресноводных озер. Использование моделей для решения задач сохранения их водных ресурсов. – СПб.: Нестор история, 2013. – 118 с.
140. Методические указания по определению опасного уровня водной и ветровой эрозии. – ФГБНУ «РосНИИПМ», Новочеркасск, 2015. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://mcx-dm.ru/sites/all/files/rosniipm_2015-10-29_08.pdf.
141. Методические указания по расчету поступления биогенных элементов в водоемы от рассредоточенных нагрузок и установлению водоохраных мероприятий. Утверждены НТС Госагропрома РСФСР 17.02.88. – Всесоюзное проектно-изыскательское и научно-исследовательское объединение «СОЮЗВОДПРОЕКТ». – 1988.
142. *Мирзеханова З.Г.* Обеспечение экологического равновесия – основа устойчивого развития территории // Территория: проблемы экологической стабильности (Амурский район в аспекте эколого-географической экспертизы). – Хабаровск: Дальнаука, 1998. – 165 с.
143. *Миричулава Ц.Е.* Инженерные методы расчета и прогноза водной эрозии. – М.: Колос, 1970. – 240 с.
144. *Михайлов С.Л.* Диффузное загрязнение водных экосистем. Методы оценки и математические модели: Аналит. обзор // СО РАН. ГПНТБ,

- Ин-т водных и экологич. проблем: Сер. Экология. – Вып. 56. – Барнаул: День, 2000. – 130 с.
145. Моделирование роста и продуктивности сельскохозяйственных культур / Под редакцией Ф.В.Т. Пеннинга, де Фриза и Х.Х. Ааара. – Л. Гидрометеоиздат, 1986. 320 с
 146. *Моисеенко Т.И., Мезгорский В.В., Гашикина Н.А., Кудрявцева Л.П.* Влияние загрязнения вод на здоровье населения индустриального региона Севера // Водные ресурсы. – 2010. – Т. 37. – № 2. – С. 199–208.
 147. *Мотовилов Ю.Г.* Гидрологическое моделирование речных бассейнов в различных пространственных масштабах. 2. Результаты испытаний // Водные ресурсы. – 2016. – № 5. – С. 467–475.
 148. *Мотовилов Ю.Г.* Моделирование полей речного стока (на примере бассейна Лены) // Метеорология и гидрология. – 2017. – № 2. – С. 78–88.
 149. *Мотовилов Ю.Г.* Оценки антропогенных загрязнений речных бассейнов тяжелыми металлами на основе модели ECOMAG // Сб. науч. тр. «Научное обеспечение реализации “Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 г.”». – 2015. – Т. 1. – С. 335–343.
 150. *Мотовилов Ю.Г.* Состояние и перспективы гидрологического моделирования речных бассейнов России на основе комплекса ECOMAG / В сб. Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов: Материалы 3-й Всероссийской конференции с международным участием. – Барнаул, 2010. – С. 530–532.
 151. *Мотовилов Ю.Г., Гельфан А.Н.* Модели формирования стока в задачах гидрологии речных бассейнов. – М.: РАН, 2018. – 300 с. DOI: 10.31857/S9785907036222000001
 152. *Мотовилов Ю.Г., Фащевская Т.Б.* Пространственно-распределенная модель формирования стока тяжелых металлов в речном бассейне // Вода: химия и экология. – 2018. №1–3. – С. 18–31
 153. *Нарбут Н.А.* Экологический каркас как форма организации территории // Вестн. КрасГАУ. – № 4. – 2008. – С. 87–91.
 154. Население. Оперативная информация [Электронный ресурс]. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Нижегородской области. – 2020. – URL: <https://nizhstat.gks.ru/folder/33271> (дата обращения: 10.04.2020).
 155. Научно-исследовательская работа по разработке проектов Генерального плана и правил землепользования и застройки городского поселения Ростов Ярославской области. Том 2. Материалы по обоснованию проекта. – ОАО «Российский институт градостроительства и инвестицион-

- ного развития «Гипрогор». – М., 2014. [Электронный ресурс]. – URL:<http://grad-rostov.ru/generalnyj-plan> (дата обращения 15.04.2020)
156. Национальный атлас России. Электронная версия. – Т. 2. Природа. Экология. – Доступно по ссылке: <http://национальныйатлас.рф>, 2018.
157. *Небел Б.* Наука об окружающей среде: как устроен мир. В 2 т. – М.: Мир, 1993.
158. *Нежиховский Р.А.* Гидролого-экологические основы водного хозяйства. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990. – 230 с.
159. *Немировская И.А., Бреховских В.Ф., Волкова З.В., Кочарян А.Г., Горюнова В.Б.* Гидроэкология: оценка экологических последствий проведения дночерпательных работ в водных объектах // Инженерная экология. – 2008. – №2. – С. 43–55
160. *Нечаев А.П.* Предотвращение загрязнения водоемов поверхностным стоком с территории промышленных предприятий // Очистка и использование поверхностного стока с территории городов и промплощадок. – МДНТП. М., 1981. – С. 76–80.
161. *Никитишн В.И., Никитишена И.А., Шабанов Н.И.* Вымывание нитратов и потери азота в условиях интенсивного применения удобрений // Круговорот и баланс азота в системе почва-удобрения-вода. – М.: Наука, 1979.
162. Нитраты в пресных водах Европы. Материалы Европейского агентства по окружающей среде. – 2019. – Доступно по ссылке: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/nutrients-in-freshwater/nutrients-in-freshwater-assessment-published-9>.
163. О ходе подготовки к проведению весенних полевых работ в 2018 году в Российской Федерации / Аналитика / О ходе сезонных полевых работ // Официальный сайт Минсельхоза РФ (дата обращения 05.02.2018).
164. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2016 год. – М.: Росгидромет, 2017.
165. *Обязов В.А., Подлипский И.И., Виноградов А.Ю., Кучмин А.В.* Накопленный вред окружающей среде Бурнаковской низины г. Нижнего Новгорода как источника долговременного загрязнения реки Волги // Водные ресурсы. – 2020. – № 5.
166. Особенности гидрохимического режима вод гидрографической сети мелиорированных водосборов / В.С. Брезгунов [и др.] // Мелиорация переувлажненных земель. – 1985. – Вып. XXXIII. – С. 80–89.
167. Охрана окружающей среды в России. 2001: Стат. сб. – М.: Госкомстат России. – 2001. – 229 с.

168. Охрана окружающей среды в России. 2006: Стат. сб. – М.: Росстат, 2006. – 239 с.
169. Охрана окружающей среды в России. 2010: Стат. сб. – М.: Росстат, 2010. – 303 с.
170. *Панченко Е.М., Дюкарев А.Г.* Экологический каркас как природоохранная система региона // Вестник Томского гос. ун-та. – 2010. – №340. – С. 216–221.
171. *Патин С.А.* Взвесь как природный и антропогенный фактор воздействия на морскую среду и организмы // Охрана водных биоресурсов в условиях интенсивного освоения нефтегазовых месторождений на шельфе и внутренних водных объектах Российской Федерации: Сборник материалов Международного семинара. – М., 2000. – С. 177–181.
172. *Патин С.А.* Нефть и экология континентального шельфа. – М.: ВНИРО. 2001. – 247 с.
173. *Пициль А.О.* Оценка выноса загрязняющих веществ от неточечных источников на городских территориях // Альманах современной науки и образования. – 2013. – № 9. – С. 141–144.
174. *Поздняков Ш.Р., Кондратьев С.А., Минакова Е.А., Брюханов А.Ю., Игнатьева Н.В., Шмакова М.В., Иванова Е.В., Обломкова Н.С., Терехов А.В.* Оценка биогенной нагрузки на Куйбышевское водохранилище со стороны водосбора // География и природные ресурсы. – 2019. – № 3. – С. 67–76.
175. *Полянин В.О.* Концептуальные подходы к мониторингу загрязнения водных объектов // Водные ресурсы. – 2020. – Т. 47. – № 5.
176. Постановление главы Конаковского района «О рассмотрении показателей государственной кадастровой оценки земель особо охраняемых территорий и объектов Конаковского района» от 26 августа 2003 г. № 683, с поправками от 1.03.2008 г.
177. Почвоведение / Под ред. А.С. Фатьянова, С.Н. Тайчинова. – М.: Колос, 1972. – 480 с.
178. Пояснительная записка к сводному тому проекта нормативов допустимого воздействия по бассейну Клязьминского водохранилища, 2009.
179. Приказ Росводресурсов от 28.10.2014 № 270 «Об утверждении Правил использования водных ресурсов Нижнекамского водохранилища на р. Каме». – 106 с.
180. *Прыгунова И.Л.* Экологический каркас Крыма / Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2005. – №5. – С. 29–33.

181. Пуклаков В.В. Гидрологическая модель водохранилища. Руководство для пользователей. – М.: ГЕОС, 1999. – 96 с.
182. Р 52.24.353–2012 Отбор проб поверхностных вод суши и очищенных сточных вод. – 2012. – Доступно по ссылке: <http://docs.cntd.ru/document/1200096368>.
183. Разгулин С.М. Минерализация соединений азота в почве березняка-кисличника // Почвоведение. – 2013. – №2. – С. 144–151.
184. РД 52.04.186–89 Руководство по контролю загрязнения атмосферы. – 1991. – Доступно по ссылке: <http://docs.cntd.ru/document/1200036406>.
185. РД 52.18.769–2012 Порядок определения исходного фонового содержания загрязняющих веществ в компонентах природной среды в районах расположения опасных производственных объектов. – Доступно по ссылке: <http://docs.cntd.ru/document/1200117035>
186. РД 52.44.2–94 Методические указания. Охрана природы. Комплексное обследование загрязнения природных сред промышленных районов с интенсивной антропогенной нагрузкой. – 1995. – Доступно по ссылке: <http://docs.cntd.ru/document/1200034752>
187. РД–АПК 1.10.15.02–17 «Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета». – [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/495876346> (Дата обращения: 20.02.2018).
188. Рекомендации по обоснованию экологически безопасного размещения и функционирования животноводческих и птицеводческих предприятий / Брюханов А.Ю., Максимов Д.А., Васильев Э.В., Шалавина Е.В., Субботин И.А., Оглуздин А.С., Хухта Х., Уваров Р.А. – СПб.: ИАЭП, 2015. – 52 с.
189. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. – М.: ОАО «НИИ ВОДГЕО». – 2014. – 88 с.
190. Рекреационное использование водохранилищ: проблемы и решения. – М.: Наука, 1990. – 152 с.
191. Республика Башкортостан // Башкортостан: Краткая энциклопедия. – Уфа: Башкирская энциклопедия, 1996. – 672 с.
192. Ресурсы поверхностных вод СССР/ Т. 10. Верхне-Волжский район. // Кн. 1. Ю.Е. Яблокова (ред.). – Московское отделение Гидрометеоиздата, 1973. – 463 с.
193. Ресурсы поверхностных вод СССР / Т. 10. Верхне-Волжский район. Описания отдельных рек и озер. – Л.: Гидрометеоиздат, 1972. – 247 с.

194. Росс Ю.К. К математической теории фотосинтеза растительного покрова. – Доклады АН СССР, 1964. – Т. 157, №5. – С. 1239–1242.
195. Российский статистический ежегодник. 2017: Стат. сб. – М.: Росстат, 2017.
196. Руководство по гидрологическим расчетам при проектировании водохранилищ. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 368 с.
197. Сайт Федеральной службы государственной статистики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gks.ru>.
198. Сайт Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.rospotrebnadzor.ru>.
199. Самохин А.А., Соловьева Н.Н., Догановский А.М. Практикум по гидрологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 296 с.
200. Санитарные правила СП 2.1.7.1038–01 «Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для твердых бытовых отходов» (утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 30 мая 2001 г. № 16)
201. Сапешико В.В., Стромский А.С., Шемет С.Ф., Курганский В.П., Татур И.С. Перспективы использования высокоглинистых руд Старобинского месторождения в сельском хозяйстве // Горный журнал. – 2007. – №6.
202. Селезнева А.В. Антропогенная нагрузка на реки от точечных источников загрязнения // Изв. Самарского НЦ РАН. – 2003. – Т. 5, №2. – С. 268–277.
203. Сиротенко О.Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 168 с.
204. Скакальский Б.Г. Влияние урбанизации на качество речных вод // Труды ГГИ. – 2003. – С. 134–135.
205. Скакальский Б.Г. Влияние урбанизации на качество речных вод // Труды ГГИ. – Вып. 206. «Вопросы влияния хозяйственной деятельности на водные ресурсы и водный режим». – Л.: Гидрометеиздат, 1973.
206. Словягина А.Н., Полянин В.О., Фащевская Т.Б. Пространственно-временная динамика качества воды городского водотока (на примере р. Лихоборка) / Сборник статей, посвященный 100-летию со дня образования Гидрохимического института, «Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод». Часть 1. – Ростов-на-Дону, 2020. С. 146-152.

207. *Смирнов Е.М., Зайцев Д.К.* Метод конечных объемов в приложении к задачам гидрогазодинамики и теплообмена в областях сложной геометрии // Научно-технические ведомости. – 2004. – № 2. – 22 с.
208. СН 435–72. Указания по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 20 с.
209. *Соловьева Т.А.* Купание как причина загрязнения воды // Гигиена и санитария. – 1953. – №3. – С. 55–58.
210. СП 32.13330.2012. Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03–85.
211. СП 42.13330.2011 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01–89*, 2011.
212. Справочник агрохимика / Сост. Д.А. Кореньков. – М.: Россельхозиздат, 1976. – 350 с.
213. *Стоянцева Н.В.* Экологический каркас территории и оптимизация природопользования на юге Западной Сибири (на примере Алтайского региона). – Новосибирск: СО РАН, 2007. – 140 с.
214. *Субботин И.А.* Оценка вымывания фосфора в зависимости от разновидности почвы и степени минерализации удобрения // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2018. – № 97. – С. 208–215.
215. *Сурмач Г.П.* Опыт расчета смыва почв для построения комплекса противоэрозионных мероприятий // Почвоведение. – 1979. – №4. – С. 92–104.
216. *Сухановский Ю.П.* Вероятностный подход к прогнозу дождевого смыва почвы. – Курск: НТБ ВНИИЗиЗПЭ, 1983. – Вып.3 (38)–83 – С. 3–9.
217. *Сухановский Ю.П.* Имитационная модель дождевой эрозии почвы // Доклады ВАСХНИЛ. – 1991. – №1. – С. 55–60.
218. Тенденции и динамика состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации по данным многолетнего мониторинга за последние 10 лет. Аналитический обзор / Отв. ред. Г.М. Черногаева. – М.: Росгидромет, 2017. – 51 с.
219. *Трофимов С.Я., Лазарев А.С., Фокин А.Д.* Минерализация лабильных фрагментов органического вещества гумусово-аккумулятивного горизонта дерново-подзолистой почвы // Почвоведение. – 2012. – №12. – С. 1259–1268.
220. *Умаров М.М., Кураков А.В., Степанов А.Л.* Микробиологическая трансформация азота в почве. – М.: Геос, 2007. – 138 с.

221. *Фащевская Т.Б., Красногорская Н.Н., Рогозина Т.А.* О воздействии предприятия «Уфаводоканал» на качество воды реки Белой // Материалы междунар. науч. конф. «Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон». – СПб.: РГГМУ, 2006. – С. 80–82.
222. *Фащевская Т.Б., Мотовилов Ю.Г.* Моделирование процессов азотного цикла на речном водосборе. Ч. I. Источники поступления азота и процессы азотного цикла // Вода: химия и экология. – 2017. – №3. – С. 15–26.
223. *Фащевская Т.Б., Мотовилов Ю.Г., Шадиянова Н.Б.* Природные и антропогенные изменения содержания железа, меди и цинка в водотоках Республики Башкортостан // Вод. ресурсы. – 2018. – Т. 45, №6. – С. 603–617.
224. *Хазиев Ф.Х.* Почвы Республики Башкортостан и регулирование их плодородия. – Уфа: Гилем, 2007. – 285 с.
225. *Хендерсон-Селлерс Б.* Инженерная лимнология. – Л.: Гидрометеоздат, 1987. – 336 с.
226. *Хрисанов Н.И., Осипов Г.К.* Управление эвтрофированием водоемов. – Л.: Гидрометеоздат, 1993. – 277 с.
227. *Чернышев Е.П., Барымова Н.А.* Роль антропогенных факторов в формировании стока растворенных веществ // Известия АН СССР. Серия: география. – 1982. – № 5. – С. 52–61.
228. *Чуйко Г.М., Законнов В.В., Морозов А.А., Бродский Е.С., Шелепчиков А.А., Фешин Д.Б.* Пространственное распределение и качественный состав полихлорированных бифенилов (ПХБ) и хлорорганических пестицидов (ХОП) в донных отложениях и леще (*Abramis brama* L.) из Рыбинского водохранилища // Биол. внутр. вод. – 2010. – №2.
229. *Чуян Г.А., Пыхтин И.Г.* Смыв питательных веществ стоком талых вод в зависимости от внесения удобрений с поверхностным стоком // Почвоведение. – 1978. – №4. – С. 113–121.
230. *Шамардина И.П.* Борьба с антропогенным эвтрофированием водоемов // Итоги науки и техники. – Т. 2. – М., 1975. – С. 100–126.
231. *Щербаков Б.Я., Чиликин А.Я., Ижевский В.С.* Залповые сбросы производственных сточных вод и их последствия // Экология и промышленность России. – 2002. – №6. – С. 39–41.
232. Экология фитопланктона Куйбышевского водохранилища / Под ред. Коновалова С.М., Паутовой В.Н. – Л.: Наука, 1989. – 304 с.
233. Экономико-математический энциклопедический словарь / Гл. ред. В.И. Данилов-Данильян. – М.: Большая российская энциклопедия; ИНФРА-М, 2003. – 688 с.

234. Электронный ресурс EcoLife: <http://el-bio.ru/blog/ochistnye-sooruzheniya-dlya-dorog>. 2020
235. Электронный ресурс НАУКАРУС: <http://naukarus.com/problemy>, 2018.
236. Эрозия почв. – М.: Колос, 1984. – 416 с.
237. *Ясинский Н.С.* Закономерности формирования стока фосфора в верхней части бассейна реки Москвы. Дис. ... канд. геогр. наук. М.: ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2019. – 174 с.
238. *Ясинский С.В., Веницианов Е.В., Вишневецкая И.А.* Диффузное загрязнение водных объектов и оценка выноса биогенных элементов при различных сценариях землепользования на водосборе // Водные ресурсы. – 2019. – Т. 46, №2. – С. 232–244.
239. *Ясинский С.В., Гуров Ф.Н.* Метод оценки характеристик диффузного загрязнения малых рек на основе ландшафтно-гидрологического подхода (на примере р. Истры) // Водное хозяйство России. – 2006. – №2. – С. 63–91.
240. *Ясинский С.В., Гуров Ф.Н., Шилькрот Г.С.* Метод оценки выноса биогенных элементов в овражно-балочную и речную сеть малой реки // Известия РАН. Серия: география. – 2007. – №4. – С.44–32.
241. *Ясинский С.В., Кашутина Е.А., Сидорова М.В., Нарыков А.Н.* Антропогенная нагрузка на водосбор и ее учет при оценке выноса биогенных элементов в крупный водный объект (на примере Чебоксарского водохранилища) // Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения. Сб. научных трудов. – Н. Новгород. М.: Студия Ф1. – 2019. – С. 487–491.
242. *Ясинский С.В., Кашутина Е.А., Сидорова М.В., Нарыков А.Н.* Антропогенная нагрузка и влияние водосбора на диффузный сток биогенных элементов в крупный водный объект (на примере водосбора Чебоксарского водохранилища) // Водные ресурсы. – 2020. – Т. 47, №5. – С. 630–648.
243. A European Overview – River Basin Management Plans accompanying the document REPORT FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL implementation of the Water Framework Directive (2000/60/EC) and the Floods Directive (2007/60/EC). Brussels, 2019. Доступно по ссылке: https://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/impl_reports.htm.
244. A water blueprint for Europe. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013. Доступно по ссылке: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/4890db5a-ddc9-4181-9d39-8a277faef30b>.

245. *Alvarez J., Guirao J., Herguedas A. and Atienza J.*, 1997. Evaluation of the PRZM2 model for transport of metamitron in undisturbed soil monoliths. Water pollution IV. Modelling, measuring and prediction. Computational Mechanics Publications 1997: 67–74.
246. *Amberger A., Schweiger P.* Wanderung der Pflanzennährstoffe im Boden und deren Bedeutung in einer umweltbewussten Landwirtschaft // Die Bodenkultur. 1973. №24. P. 221–237.
247. *Ambrose R.B., Wool T.A., Barnwell Th.O.* Development of Water Quality Modeling in the United States // Environ. Eng. Res. 2009 December, 14(4). P. 200–210. DOI:10.4491/eer.2009.14.4.200
248. *Andersson L., Rosberg J., Pers B.C., Olsson J., Arheimer B.* Estimating catchment nutrient flow with the HBV–NP model: sensitivity to input data // Ambio. 2005. 34, 521–532.
249. *Arheimer B. and Olsson J.* Integration and Coupling of Hydrological Models with Water Quality Models: Applications in Europe. Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI). 2002. 53 p.
250. *Arheimer B., Brandt M.* Modelling nitrogen transport and retention in the catchments of southern Sweden // Ambio. 1998. 27. P. 471–480.
251. *Arheimer B., Löwgren M., Pers B.C., Rosberg J.* Integrated catchment modeling for nutrient reduction: scenarios showing impacts, potential and cost of measures // Ambio. 2005. 34, Pp. 513–520.
252. *Arnold J.G., Allen P.M., Bernhardt G.* A comprehensive surface-groundwater flow model // J. Hydrology. 1993. 142. P. 47–69.
253. *Arnold J.G., Williams J.R. Srinivasan R., King K.W., Griggs R.H.* SWAT, Soil and Water Assessment Tool. USDA, Agriculture Research Service, Temple. 1994. TX 76502.
254. Assessing the Investment: The Economic Impact of the Great Lakes Restoration Initiative. Great Lakes Commission and Council of Great Lakes Industries. Ann Arbor (Michigan, USA), 2018.
255. *Baker J.L.* 1983. Agricultural areas as nonpoint sources of pollution // M.R. Overcash, J.M. Davidson (eds.) Environmental Impacts of Nonpoint Source Pollution. Ann Arbor Sci. Publ., Inc., Ann Arbor, MI. P. 275–310.
256. *Barnwell T.O., Johanson R.* HSPF: a comprehensive package for simulation of watershed hydrology and water quality. Nonpoint pollution control – tools and techniques for the future // Proceedings of a Technical Symposium, 1981. P. 135–153.

257. *Barrows H.L., Kilmer V.J.* Plant nutrient losses from soil by water erosion / H.L. Barrows, V.J. Kilmer // A.G. Normann. *Advances in Agronomy*. 1963. V. 15. P. 303–315.
258. *Beasley D.B., Huggins L.F.* ANSWERS – user’s manual. – USEPA, 1981. – 54 p.
259. *Bedient P.B., Lambert J.L., Springer N.K.*, Stormwater pollutant load runoff relationships. *Journal Water Pollution Control Federation*, 1980, 52 (9), P. 2396–2404.
260. *Behrendt H., Dannowski R.* Nutrients and heavy metals in the Odra River system– Weissensee Verlag Publ., Germany, 2007, 337 p.
261. *Bergström S.* 1976 Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments. SMHI Reports RHO, No. 7, Norrköping.
262. *Birkinshaw S.J., Ewen J.* Nitrogen transformation component for SHETRAN catchment nitrate transport modelling // *Journal of Hydrology*, Vol. 230, Issues 1–2, 28 April 2000. P. 1–17.
263. *Blau J.B., Woolhiser D.A., Lane L.J.* Identification of erosion model parameters. – *TransP of the ASAE*, 1988. v 31, n 3, p.839–845, 854.
264. *Briukhanov A.* Background for introduction of BAT system in intensive dairy farming in Russia / A. Briukhanov, E. Vasilev, N. Kozlova, E. Shalavina // *Proceedings of 17th International Scientific Conference “Engineering for Rural Development”*. May 23–25. – Jelgava, Latvia, 2018b. – P. 278–284.
265. *Briukhanov A., Kondratyev S., Tarbaeva V., Vorobyeva E., Oblomkova N.* Contribution of agricultural sources to nutrient load generated on the russian part of the Baltic sea catchment area // *Rural development. Bioeconomy Challenges*, 2017a. P. 226–231.
266. *Briukhanov A., Vasilev E., Kozlova N., Lukin S.* Environmental assessment of livestock farms in the context of BAT system introduction in Russia // *Innovative solutions for sustainable management of nitrogen: Conference proceedings*. Tjele, Denmark, 26–28 June 2017b. P. 126.
267. *Briukhanov A., Alexeev L., Oblomkova N., Subbotin I.* Results of field studies on nitrogen and phosphorus input from agricultural production to selected water bodies in Western Dvina // *Proceedings of 17th International Scientific Conference «Engineering for Rural Development»*. May 23–25. Jelgava, Latvia, 2018a. P. 278–284.
268. *Briukhanov A.Yu., Trifanov A.V., Spesivtsev A.V., Subbotin I.* Logical-Linguistic Modeling in Addressing Agro-Environmental Challenges // *Proceedings of the XIX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM 2016)*. P. 164–166.

269. *Cabrera M., Molina J.A., Vigil M.* Modeling the Nitrogen Cycle // Nitrogen in Agricultural Systems, Agronomy Monograph 49. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 2008. P. 695–730.
270. Canada-Ontario Lake Erie action plan, 2018. Текст доступен по ссылке: <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/great-lakes-protection/action-plan-reduce-phosphorus-lake-erie.html>.
271. *Carsel R.F., Smith C.N., Mulkey L.A., Dean J.D., Jowise P.* 1984. User's manual for the pesticide root zone model (PRZM): Release 1. EPA-600/3-84-109. U.S. EPA, Athens, GA.
272. CE-QUAL-R1: A numerical one-dimensional model of reservoir water quality; User's manual. Instruction Report E-82-1, US Army Engineer Waterways Experiment Station Environmental Laboratory, Vicksburg, Miss., 1986. 508 p.
273. *Chaisson C.* When It Rains, It Pours Raw Sewage into New York City's Waterways. 2017. Доступно по ссылке: <https://www.nrdc.org/stories/when-it-rains-it-pours-raw-sewage-new-york-citys-waterways>.
274. *Chen C.T., Millero F.J.* Precise thermodynamic properties for natural waters covering only limnological range // *Limnol. Oceanogr.* 31(3). 1986. P. 657–662.
275. CIRCABC (Communication and Information Resource Centre for Administrations, Businesses and Citizens). 2020. Доступно по ссылке: <https://circabc.europa.eu/faces/jsp/extension/wai/navigation/container.jsp>.
276. *Clausen J.C.* Jordan Cove Watershed Project Final Report. University of Connecticut, College of Agriculture and Natural Resources, Department of Natural Resources Management and Engineering, 2007.
277. Council directive of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources (91/676/EEC). – Директива по нитратам. Доступно по ссылке: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1561542776070&uri=CELEX:01991L0676-20081211>.
278. Council Directive of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption (98/83/EC) – Директива по питьевой воде.
279. *Davidson J.L., Philip J.R.* Light and pasture growth. *Climatology and Microclimatology*, UNESCO, 1958. P. 181–187.
280. *De Wit C. T.* Potential photosynthesis of crop surfaces – *Neherlands J. Agric. Sci.*, 1959. vol.7, N 1, p.141–149.
281. Diffuse Pollution, Degraded Waters: Emerging Policy Solutions. OECD Studing on Water. OECD Publishing. Paris. 2017. Доступно по ссылке: https://read.oecd-ilibrary.org/environment/diffuse-pollution-degraded-waters_9789264269064-en#page1.

282. Directive (EU) 2015/2193 of the European Parliament and of the Council of 25 November 2015 on the limitation of emissions of certain pollutants into the air from medium combustion plants. 2015. Доступно по ссылке: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32015L2193>
283. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy // Official Journal of the European Community L327, 22.12/2000, Pp. 1–72. Режим доступа: <http://eur-lex.europa.eu> (дата обращения: 24.04.2019).
284. Directive 2001/81/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2001 on national emission ceilings for certain atmospheric pollutants. Доступно по ссылке: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2001.309.01.0022.01.ENG.
285. Directive 2006/7/EC of the European Parliament and of the Council of 15 February 2006 concerning the management of bathing water quality and repealing Directive 76/160/EEC – Директива по рекреационному водопользованию.
286. Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control) – Директива по промышленным выбросам. Доступно по ссылке: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32010L0075>.
287. *Dressing S.A., Meals D.W., Harcum J.B., Spooner J., Stribling J.B., Richards R.P., Millard C.J., Lanberg S.A., O'Donnell J.G.* 2016. Monitoring and Evaluating Nonpoint Source Watershed Projects. United States Environmental Protection Agency Office of Water Nonpoint Source Control Branch. Washington, DC 20460. Доступно по ссылке: <https://www.epa.gov/nps/guidance-monitoring-and-evaluating-nonpoint-source-watershed-projects>
288. *Eckersten H., Jansson P.-E.*, 1991. Modelling water flow, nitrogen uptake and production for wheat // *Fertilizer Research*. 27. P. 313–329.
289. Electronic Code of Federal Regulations. 2017. Доступно по ссылке: <https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=454a7b51118b27f20cef29ff071c1440&node=40:22.0.1.1.18&rgn=div5>.
290. Environment Agency. Catchment Sensitive Farming Evaluation Report // *Water Quality, Phases 1 to 4 (2006–2018)*. Natural England publication, June 2019.
291. Environmental Quality Standards Directive 2008/105/EC (EU, 2008a). – Директива по стандартам качества окружающей среды.
292. EPA-State Approach to Instream Monitoring for NWQI, 2013.
293. European Pollutant Release and Transfer Register (E-PRTR). 2020. Доступно по ссылке: <https://prtr.eea.europa.eu/#/home>.

294. European waters. Assessment of status and pressures 2018. EEA Report № 7/2018. Отчет Европейского агентства по окружающей среде. Доступно по ссылке: <https://www.eea.europa.eu/publications/state-of-water>.
295. Everything you need to know about SPARROW. 2020. Доступно по ссылке: https://www.usgs.gov/mission-areas/water-resources/science/everything-you-need-know-about-sparrow?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects.
296. FAO. 2019. Proceedings of the Global Symposium on Soil Erosion 2019. Rome. Доступно по ссылке: <http://www.fao.org/about/meetings/soil-erosion-symposium/about-the-symposium/ru/>.
297. *Fashchevskaya T.B., Motovilov Yu.G.* Modeling water pollution under different scenarios of zinc load on the Nizhnekamskoe Reservoir watershed // *Water Resources*. 2019. V. 46. Suppl. 2. P. S69–S80. DOI 10.1134/S0097807819080074
298. *Fashchevskaya T.B., Polianin V.O., Fedosova L.V.* Structural Analysis of Water Quality Formation in an Urban Watercourse: Point, Non-Point, Transit, and Natural // *Water Resource*. 2018. V. 45. Suppl. 1. P. S67–S78.
299. *Feddes R.A., Bresler E., Neuman S.P.* (1974) Field test of modified numerical model for water uptake by root systems // *Water Resources Research* 10(6), 1166–1206.
300. *Flügel W.* 1995 Delineating hydrological response units by geographical information-system analyses for regional hydrological modeling using PRMS/MMS in the drainage-basin of the River Brol, Germany // *Hydrol. Process*. 9. P. 423–436.
301. *Foster G.B., Meyer L.D.* Mathematical simulation, of upland erosion by fundamental erosion mechanics // *Present and perspective technology for predicting sediment yields and sources*. USDA.ARS–S–40. 1975. P.190–206.
302. *Foster G.B., Meyer L.D., Onstad C.A.* A runoff erosivity factor and variable slope exponents for soil loss estimates. *Trans. of the ASAE*. 1977a. V. 20. No. 4. P. 683–687.
303. *Foster G.B., Meyer L.D., Onstad C.A.* An erosion equation derived from basic erosion principles. *Trans. of the ASAE*, 1977b. V. 20, No. 4. P. 678–682.
304. *Foster G.B., Wichmeier W.H.* Evaluating irregular slopes for soil loss prediction. *Trans. of the ASAE*. 1974. V. 17. No. 2. P. 305–309.
305. *Gaastra P.* Photosynthesis of crop plants as influenced by light, carbon dioxide, temperature, and stomatal diffusion resistance. *Mededel. Landbouwhogeschool, Wageningen*, 1959. V. 59, No. 13. P. 1–68.

306. Great Lakes Water Quality Agreement. 2012. Доступно по ссылке: <https://webarchive.library.unt.edu/web/20120921191538/http://www.epa.gov/glnpo/glwqa/index.html>.
307. Green Storm Infrastructure Projects. 2020. ГИС-проект г. Филадельфия. Доступно по ссылке: <http://phl-water.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=c5d43ba5291441dabee5573a3f981d2/>
308. *Groenendijk P., Kroes J.G.* 1999 Modelling the nitrogen and phosphorus leaching to groundwater and surface water with ANIMO 3.5. Winand Staring Centre. Wageningen (The Netherlands), Report 144.
309. Guidelines for Reviewing TMDLs under Existing Regulations issued in 1992 May 20, 2002. Доступно по ссылке: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/2002_06_04_tmdl_guidance_final52002.pdf
310. Guidelines for the compilation of waterborne pollution to the Baltic Sea (PLC-water). HELCOM. Helsinki. 2005. 80 p.
311. Gulf of Mexico Hypoxia Watch. 2020. Доступно по ссылке: <https://www.ncddc.noaa.gov/hypoxia/>.
312. Handbook for Developing Watershed Plans to Restore and Protect Our Waters. Washington, DC 20460 EPA 841-B-08-002, 2008. Доступно по ссылке: <https://www.epa.gov/nps/handbook-developing-watershed-plans-restore-and-protect-our-waters>.
313. *Hartig J.H., Krantzberg G., Alsip P.* Thirty-five years of restoring Great Lakes Areas of Concern: Gradual progress, hopeful future // *Journal of Great Lakes Research*. June 2020. V. 46. Issue 3.
314. *Hattermann, F.F., Krysanova V., Habeck A., Bronstert A.* 2006. Integrating wetlands and riparian zones in river basin modelling // *Ecological Modelling*. 199. P. 379–392.
315. Healthy Waters, Strong Economy: The Benefits of Restoring the Great Lakes Ecosystem, September 2007. Доступно по ссылке: <https://webarchive.library.unt.edu/web/20120921063859/http://www.epa.gov/greatlakes/sediment/legacy/index.html>.
316. *Hesse C. & Krysanova V.* Modeling Climate and Management Change Impacts on Water Quality and In-Stream Processes in the Elbe River Basin // *Water*. 2016, 8, 40. 31 p. doi:10.3390/w8020040
317. *Hewlett J.D., Pienaar L.* Design and Analysis of the Catchment Experiment // *Proceedings of a Symposium on Use of Small Watersheds in Determining Effects of Forest Land Use on Water Quality* / Ed. White E. H. University of Kentucky, Lexington, KY, May 22–23, 1973.

318. *Hiroi T., Monsi M.* Dry matter economy of *Helianthus annuus* communities grown at varying densities and light intensities. J. Faculty Sci. Univ. Tokyo, 1966. V. 3, No. 9. P. 241–285.
319. *Hirshi M.C., Barfield B.J.* KYEPMO – A physically based research erosion model. ASAE, St. Joseph. Mich. 1986. Paper No. 86–2047. P. 34.
320. *Howard-Williams C., Davies-Colley R., Rutherford K., Wilcock R.* Diffuse pollution and freshwater degradation: New Zealand Perspectives // Selected papers from the 14th Int. Conf. of the IWA Diffuse Pollution Specialist Group. DIPCON, 2010.
321. *Huber W.C., Dickinson R.E.* Storm Water Management Model, Version 4: User's Manual // EPA/600/3–88/001a. Environmental Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, Athens, GA, October 1992.
322. Impacts of Impervious Cover on Aquatic Systems. Watershed Protection Research Monograph No. 1. Center for Watershed Protection. Ellicott City, 2003.
323. Implementation of the Water Framework Directive in Baden-Württemberg. 2020. Интернет-сайт Министерства окружающей среды защиты климата и энергетики федеральной земли Баден-Вюртемберг. Доступно по ссылке: <https://um.baden-wuerttemberg.de/en/topics/sustainable-river-basin-management/water-framework-directive/>.
324. *Jarvis N.J.* 1994. The MACRO model (Version 3.1). Technical description and sample simulations. Reports and Dissert. 19, Dept. Soil Sci., Swedish Univ. Agric. Sci., Uppsala, Sweden, 51 P.
325. *Jarvis N.J., Brown C.D., Granitza E.,* 2000. Sources of error in model predictions of pesticide leaching: a case study using the MACRO model // Agricultural Water Management, 44. P. 247–262.
326. *Johanson R.C., Imhoff J.C., Kittle J.L., Donigian A.S.* Hydrological Simulation Program – Fortran (HSPF): User's Manual for Release 8 // EPA-600/3–84–066. U.S. Environmental Protection Agency, Athens, GA, 1984.
327. *Johnes P.I., Heathwaite A.L.* Modelling the impact of land use change on water quality in agricultural catchments // Hydrological Processes. 1997. V. 11. P. 269–286.
328. *Johnsson H., Bergström L., Jansson, P.-E., Paustian K.* Simulated nitrogen dynamics and losses in a layered agricultural soil // Agric. Ecosyst. Environ. 1987. 18. P. 333–356.
329. *Johnsson H., Larsson M., Mårtensson K., Hoffmann M.* SOILNDB: a decision support tool for assessing nitrogen leaching losses from arable land // Environmental Modelling & Software. 2002. 17. P. 505–517.

-
330. *Johnsson, H., Hoffmann M.* Nitrogen leaching from agricultural land in Sweden // *Ambio*. 1998. 27. P. 481–488.
331. *Khanbilvardi P.M., Rogowaki A.S.* Mathematical model of erosion and deposition on a watershed. *Trans. of the ASAE*, 1984. V. 27. No. 1. P. 73–79.
332. *Kibler D.F. Wolhiser D.A.* The kinematic cascade as a hydrologic model // *Hydrology Papers*. Colorado States University. Fort Coll ins. Colorado, 1970. No. 39. 27 p.
333. *Kireicheva L, Lentyaeva E.* Estimation of diffuse runoff coming into the Upper Volga basin with drainage water containing biogenic substances // *Journal of Mechanics of Continua and Mathematical Sciences, Special Issue* No. 10. June 2020. P. 552–568.
334. *Knisel W.G.*, ed., 1980. CREAMS: a field scale model for chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems // USDA: Conservation research report No. 26. Washington: Dept. of Agriculture, Science and Education Administration. 643 p.
335. *Krantzberg G.* The Ongoing Review of the Great Lakes Water Quality Agreement // *J. Great Lakes Res.* 2007. 33. P. 699–703. Доступно по ссылке: https://www.researchgate.net/publication/228660389_The_Ongoing_Review_of_the_Great_Lakes_Water_Quality_Agreement
336. *Krysanova V., Hattermann F., Huang S., Hesse C., Voß A.* Water Quality Modelling in Mesoscale and Large River Basins // *Hydrological systems modeling. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*. 2009. V. 2. P. 11–48.
337. *Krysanova V., Becker A., Klöcking B.* 1998a. The linkage between hydrological processes and sediment transport at the river basin scale // W. Summer, E. Klaghaver, W. Zhang (eds.) *Modelling Soil Erosion, Sediment Transport and Closely Related Hydrological Processes*. IAHS Publications. No. 249. P. 13–20.
338. *Krysanova V., Meiner A., Roosaare J., Vasilyev A.* Simulation modelling of the coastal waters pollution from agricultural watershed // *Ecological Modelling*. 1989. 49. P. 7–29.
339. *Krysanova V., Müller-Wohlfeil D.-I., Becker A.* Development and test of a spatially distributed hydrological water quality model for mesoscale watersheds // *Ecological Modelling*. 1998b. 106 (1–2). P. 261–289.
340. *Kuh Hsien-chien, Reddell D.L., Hiller E.A.* Two-dimensional model of erosion from a watershed. *St. Joseph Mich. Paper Amer. Soc. of agric. Engineers*. 1976. No. 76 (2539). 26 p.

341. *Leistra M., van der Linden A.M.A., Boesten J.J.T.I., Tiktak A., van den Berg F.* PEARL model for pesticide behaviour and emissions in soil-plant systems. Description of processes // Alterra report 13, RIVM report 711401009. Alterra, Wageningen, 2000. 107 p.
342. *Leonard R.A., Ferreire V.A.* CREAMS2 – The nutrient and pesticide models // Proc. Natural Res. Modeling Symposium. Agricultural Research Service. U.S. Dept. Agriculture, 1984.
343. *Leonard R.A., Knisel W.G., Still D.A.* GLEAMS: Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems // Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. 1987. V. 30. No. 5. P. 1403–1418.
344. *Li C., Florking S., Froling T.A.* A model of nitrous oxide evolution from soil driven by rainfall events: Model structure and sensitivity // J. Geophys. Res. 1992. 97. P. 9759–9776.
345. *Lighthill M.J., Whitham C.B.* On Kinematic Waves. I. Flood Movement in Long Rivers // Proc. of the Poyal Society of London. Series A. 1955. V. 229. P. 69–76.
346. *Lindström G., Johansson B., Persson M., Gardelin M., Bergström S.* Development and test of the distributed HBV–96 model // J. Hydrol. 1997. 201. P. 272–288.
347. *Lindström G., Pers Ch., Rosberg J., Strömqvist J., Arheimer B.* Development and testing of the HYPE (Hydrological Predictions for the Environment) water quality model for different spatial scales // Hydrology Research, 2010. No. 3–4 (41). P. 295–319.
348. *Lombardo L.A., Grabow G.L., Spooner J., Line D.E., Osmond D.L., Jennings G.D.* Section 319 Nonpoint Source National Monitoring Program Successes and Recommendations. NCSU Water Quality Group, Biological and Agricultural Engineering Department, NC State University, Raleigh, North Carolina, 2000. Доступно по ссылке: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/nmp_successes.pdf .
349. *Maidment D.R.* (ed.) Handbook of Hydrology. – NY: McGraw-Hill Inc., 1992.
350. *Maidment D.R.* (ed.) Handbook of hydrology. N.Y.: McGraw-Hill, Inc. 1993.
351. *Mailhol J., Ruelle P., Nemeth I.* Impact of fertilisation practices on nitrogen leaching under irrigation // Irrigation Science. 2001. 20(3). P. 139–147.
352. *Mardsen M.W.* Lake restoration by reducing external phosphorus loading: the influence of sediment release // Freshwater Biol. 1989. V. 21.
353. *McGill W.B., Hunt H.W., Woodmansee R.G., Reuss J.O.* 1981. Phoenix: A model of the dynamics of carbon and nitrogen in grassland soils // F.E.

- Clark and R. Rosswall (eds.) Terrestrial nitrogen cycles. Ecol. Bull. (Stockholm) 33: 49–115.
354. *Meals D.W.* 2001. Lake Champlain Basin Agricultural Watersheds Section 319 National Monitoring Program Project, Final Project Report: May, 1994-September, 2000. Vermont Department of Environmental Conservation, Waterbury, VT.
355. *Mobbs P.M.* The Mineral Industry of Canada // CANADIAN MINERALS YEARBOOK, 2010. Conservation Buffers to Reduce Pesticide Losses. United States Department of Agriculture, 2000. (https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs143_023819.pdf).
356. Modeling of Nonpoint Source Water Quality in Urban and Non-urban Areas. Report EPA/600/3–91/039 June 1991. 101 p.
357. *Molina J.A.E., Clapp C.E., Shaffer M.J., Chichester F.W. and Larson W.E.* NCSOIL, a model of nitrogen and carbon transformations in soil: Description, calibration and behavior. Soil Sci. Soc. Am. J., 1983, 47. P. 85–91.
358. *Monsi M. and Saeki T.* Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion // Jap. J. Bot., 1953. Vol. 14. N 1. P. 22–52.
359. *Morgan R.P.C.* 2001 A simple approach to soil loss prediction: a revised Morgan–Morgan–Finney model. Catena 44, 305–322.
360. *Moriasi D.N., Arnold J.G., Van Liew M.W., Bingner R.L., Harmel R.D., Veith T.L.* Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations // Transactions of the ASABE. 2007. V. 50(3). P. 885–900.
361. *Moss B., Madgwick J., Phillips G.* A guide to the restoration of nutrient-enrichment shallow lakes. 1996.
362. *Motovilov Ju.G.* Modelling the effects of agrotechnical measures on spring runoff and water erosion // IANS Publ., N 166, 1987. p. 241–251.
363. *Motovilov Yu.* ECOMAG: a distributed model of runoff formation and pollution transformation in river basins / In: Understanding Freshwater Quality Problems in a Changing World. Proceedings of H04, IAHS–IAPSO–IASPEI Assembly, Gothenburg, Sweden, July 2013 (IAHS Publ. 361, 2013). P. 227–234.
364. *Motovilov Yu.G., Fashchevskaya T.B.* Simulation of spatially-distributed copper pollution in a large river basin using the ECOMAG–HM model // Hydrological Sciences Journal. V. 64. Is. 6. 2019. P. 739–756.
365. *Motovilov Yu.G., Golosov S.D., Datsenko Yu.S., Zverev I.S., Puklakov V.V., and Fashchevskaya T.B.* Information–Modeling Complex for Assessing the

- Hydroenvironmental Conditions of Reservoirs // *Water Resources*, 2020. V. 47, No. 5. P. 751–762. DOI: 10.1134/S0097807820050139
366. *Motovilov, Y.G.*, 2017. Modeling fields of river runoff (a case study for the Lena river Basin). *Russian Meteorology and Hydrology*, 42, 121–128. doi:10.3103/S1068373917020066
367. *Motovilov Yu.G., Gottschalk L., Engeland K., Belokurov A.* ECOMAG – regional model of hydrological cycle. Application to the NOPEX region. – Department of Geophysics, University of Oslo, Institute Report Series no.105, May 1999a. – 88 p.
368. *Motovilov Yu.G., Gottschalk L., Engeland K., Rodhe A.* Validation of a distributed hydrological model against spatial observation // *Agricultural and Forest Meteorology*. – 1999b – Vol. 98 No. 99. – P. 257–277.
369. National Nonpoint Source Program – a catalyst for water quality improvements. A report on highlights of the §319 program. 2016. Доступно по ссылке: <https://www.epa.gov/nps/319-grant-reports-and-project-summaries>.
370. National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES). 2020. Доступно по ссылке: <https://www.epa.gov/npdes>.
371. *Novotny V. and Chesters G.* Handbook of non-point pollution. NY: Van Nostrand Reinhold Co., 1981. P. 545 p.
372. *Novotny V.* Diffuse (nonpoint) pollution a political, institutional and fiscal problem. *WPSF Journal*, V. 60, 1988.
373. *Novotny V.* Water quality: Diffuse Pollution and Watershed Management. NY: J. Wiley & Sons, 2003.
374. NSW Diffuse Source Water Pollution Strategy. Department of Environment and Climate Change NSW, Sydney, 2009. Доступно по ссылке: <https://www.environment.nsw.gov.au/research-and-publications/publications-search/nsw-diffuse-source-water-pollution-strategy>.
375. *Onstad C.A., Foster G.R.* Erosion modeling on a watershed. *Trans. of the ASAE*, 1975. V. 18, No. 2. P. 288–293.
376. *Onstad C-A., Otterby M.A.* Estimating the effects of cropping, tillage and erosion control practices over large areas // *Trans. of the ASAE*, 1982. V. 25, No. 1. P. 111–115.
377. Ontario’s Great Lakes Strategy. 2016. Доступно по ссылке: <https://www.ontario.ca/page/ontarios-great-lakes-strategy>.
378. *Park S.W., Mitchel I J.K., Scarborough J.N.* Soil erosion simulative on small watersheds: a modified ANSWERS model // *Trans. of the ASAE*, 1982. V. 25. No. 6. P. 1581–1588.

379. *Pers C.* The code of HYSS and HYPE – overview HYSS – Hydrological Simulation System HYPE – Hydrological Predictions for the Environment. Part 1: Introduction to the HYSS and HYPE code. 2014. С. 1–11.
380. *Pers C., Lindström G., Rosberg J., Arheimer B., Andersson L.* 2006 Development of a new distributed hydrological model for large-scale and small-scale applications // Refsgaard J.C. & Höjberg A.L. (eds.). Proc. of the XXIV Nordic Hydrological Conf. NHP Report No. 49. P. 307–314.
381. *Pierre Y., Macel P.* Modeling of rainfall erosion // J. Hydraul. Eng. 1985. V. 111. No. 10. P. 1344–1359.
382. *Post J., Krysanova V., Suckow F., Mirschel W., Rogasik J., Merbach I.* Integrated ecohydrological modelling of soil organic matter dynamics for the assessment of environmental change impacts in meso- to macro-scale river basins // Ecological Modelling. 2007. 206. 93–109.
383. *Puklakov V.* Mathematical Model of the Heat and Mass Transfer Processes in a Stratified Reservoir // Int. Revue ges. Hydrobiol. 80. 1995. No. 1. P. 49–59.
384. *Rauche H.A.M., Fulda D., Schwalm V.* Tailings and Disposal Brine Reduction – Design Criteria for Potash Production in the 21st Century // Proc. of the Eighth Int. Conf. on Tailings and Mine Waste 01, Fort Collins. Colorado (USA), 16–19 January 2001.
385. *Rekolainen S., Gouy V., Francaviglia R., Eklo O.M., Barlund I.* Simulation of soil water, bromide and pesticide behaviour in soil with the GLEAMS model // Agricultural Water Management. 2000. 44(1–3). P. 201–224.
386. *Rekolainen S., Posch M.* Adapting the CREAMS Model for Finnish Conditions. Nordic Hydrology. 1993. 24. P. 309–322.
387. Report from the Commission to the Council and the European Parliament on the implementation of Council Directive 91/676/EEC concerning the protection of waters against pollution caused from agricultural sources based on Member State reports for the period 2012–2015. Brussels, 2018. Доступно по ссылке: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1556887308650&uri=CELEX:52018SC0246>.
388. Resources, Tools and Databases about Impaired Waters and TMDLs. 2020. Доступно по ссылке: <https://www.epa.gov/tmdl/resources-tools-and-databases-about-impaired-waters-and-tmdls>.
389. Results of the Nationwide Urban Runoff Program. Final Report. Volume 1. NTIS PB84–185552/ U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1983.
390. *Rijtema P.E., Kroes J.G.* Some results of nitrogen simulations with the model ANIMO // Fertilizer Research. 1991. 27. P. 189–198.

391. *Roesner L.A., Nichandros H.M., Shubinski R.P.* et al. A model for evaluating runoff-quality in metropolitan master planning // ASCE Urban Water Resources Research Program, Technical Memorandum No. 23 (NTIS PB-234312). NY: ASCE, 1974.
392. *Rossmann L.A.* Storm Water Management Model User's Manual. Version 5.0. EPA/600/R-05/040 Revised July 2009. National risk management research Laboratory Office of research and development U.S. Environmental Protection Agency. 297 p.
393. *Rossmann L. A., Huber W. C.* Storm Water Management Model Reference Manual Volume III Water Quality, 2016. 161 p. [Электронный ресурс]. URL: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=P100P2NY.txt> (дата обращения 16.01.2020).
394. *Rossmann L. A., Huber W. C.* Storm Water Management Model Reference Manual Volume I Hydrology (Revised), 2015. 233 p. [Электронный ресурс]. URL: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=P100NYRA.txt>. (дата обращения 20.01.2020).
395. *Saeki T., Kuroiwa S.* On the establishment of the vertical distribution of photosynthetic system in a plant community // Bot. Mag. Tokyo, 1959. V. 72. No. 848. P. 27–35.
396. *Sauve S., Manna S., Turmel M.-C., Roy A.G., Courchesne F.* Solid-solution partitioning of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn in the organic horizons of a forest soil // Environ. Sci. Technol. 2003. 37(22). P. 5191–5196.
397. *Savitri J., Krantzberg G.* (2014). A SWOT Analysis of the Great Lakes Water Quality Protocol 2012: The Good, the Bad and the Opportunity. Electronic Green Journal. 1. 10.5070/G313724071. Доступно по ссылке: https://www.researchgate.net/publication/290269703_A_SWOT_Analysis_of_the_Great_Lakes_Water_Quality_Protocol_2012_The_Good_the_Bad_and_the_Opportunity.
398. *Selezneva A.V., Seleznev V.A.* Estimation of diffuse pollution and its impact on quality of waters in the Volga river reservoir // Proc. of the Second Intern. IAWQ Specialized Conf. and Symp. on Diffuse Pollution. Prague. 1995. P. 636–640.
399. *Seligman N.G., van Keulen H.* PAPRAN. A simulation model of annual pasture production limited by rainfall and nitrogen // M.J. Frissel, van Veen J.A. (eds.). Simulation of Nitrogen Behavior of Soil-Plant Systems, Proc. Workshop, January-February 1990. Wageningen, 1991. P. 192–221.
400. Severn Sound. 2020. Severn Sound Environmental Association. Доступно по ссылке: <https://www.severnsound.ca/about/severn-sound>.
401. *Simunek J., Vogel T., van Genuchten M.Th.* The SWMS_2D code for simulating water flow and solute transport in two-dimensional variably

- saturated media, Version 1.21. Research Report No. 132, 197 p., U.S. Salinity Laboratory, USDA, ARS, Riverside, California, 1994.
402. *Smith R.V., Doyle R.M., Burns L.C., Stevens R.J.* A model for nitrite accumulation in soils // *Soil Biol. Biochem.* 1997. 29. P. 1241–1247.
403. *Spooner J., Szpir L.A., Line D.E., Osmond D.L., Meals D.W., Grabow G.L.* 2011. Summary Report: Section 319 National Nonpoint Source Monitoring Program (NNPSMP) Projects. NCSU Water Quality Group, Biological and Agricultural Engineering Department, North Carolina State University, Raleigh, NC. 456p. Доступно по ссылке: <https://319monitoring.wordpress.ncsu.edu/states-with-projects/summary-report-full-report/>
404. *Staying Green: Strategies to Improve Operations and Maintenance of Green Infrastructure in the Chesapeake Bay Watershed.* 2013. Доступно по ссылке: <https://americanrivers.org/wp-content/uploads/2016/05/staying-green-strategies-improve-operations-and-maintenance.pdf>.
405. *Storm Smart Schools A Guide to Integrate Green Stormwater Infrastructure to Meet Regulatory Compliance and Promote Environmental Literacy.* EPA EPA 903–K–17–001, June 2017. Доступно по ссылке: https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-10/documents/storm_smart_schools_print_final_071317.pdf
406. *Storm Water Management Model. V. I. Final Report.* Metcalf & Eddy, Inc., University of Florida, and Water Resources Engineers, Inc. / EPA Report 11024DOC07/71, U. S. Environmental Protection Agency, Water Quality Office, Washington, DC, July 1971.
407. *Subbotin I., Briukhanov A., Ogluzdin A.* Comparison of phosphorus leaching on different soils to tuning IEEPAgrDLM model // *Proceedings of 17th Int. Scientific Conf. «Engineering for Rural Development».* May 23–25. Jelgava, Latvia, 2018. P. 665–669.
408. *Success Stories about Restoring Water Bodies Impaired by Nonpoint Source Pollution.* 2020. Материалы интернет-портала Агентства окружающей среды США. Доступно по ссылке: <https://www.epa.gov/nps/success-stories-about-restoring-water-bodies-impaired-nonpoint-source-pollution#Why>.
409. *SWIM (Soil and Water Integrated Model) User Manual /* Valentina Krysanova, Frank Wechsung Potsdam Institute for Climate Impact Research, Potsdam, Germany in collaboration with Jeff Arnold, Ragavan Srinivasan and Jimmy Williams USDA ARS, Temple, TX, USA. Version: SWIM–8, 2000. 239 p.
410. *Tattari S., Bärlund I., Rekolainen S., Posch M., Siimes K., Thukanen H.-R., Yli-Halla M.* Modeling sediment yield and phosphorus transport in Finnish clayey soils. *Trans. ASAE* 44, 2001. 297–307.

411. The European environment – state and outlook 2020. Knowledge for transition to a sustainable Europe. European Environment Agency, 2019. Доступно по ссылке: <https://www.eea.europa.eu/publications/soer-2020>.
412. Urban Runoff: Low Impact Development. 2020. Доступно по ссылке: <https://www.epa.gov/nps/urban-runoff-low-impact-development>.
413. USDA–NRCS (U.S. Department of Agriculture–Natural Resources Conservation Service). 2003. National Water Quality Handbook. 450–VI–NWQH. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Washington, DC. Доступно по ссылке: <https://archive.org/details/CAT30923739>.
414. *Van Veen J.A., Frissel M.J.* Simulation model of the behavior of N in soil // M.J. Frissel, J.A. Van Veen (eds.) Simulation of nitrogen behavior in soil plant systems. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, The Netherlands. 1981. P. 126–144.
415. *Vanclooster M., Viaene P. Diels J., Christiaens K.* WAVE: a mathematical model for simulating water and agrochemicals in the soil and vadose environment. Reference and user’s manual (release 2.0). Institute for Land and Water Management, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, Belgium. 1995.
416. *Vanclooster M., Ducheyne S., Dust M., Vereecken H.* Evaluation of pesticide dynamics of the WAVE-model // Agricultural Water Management. 2000. 44(1–3). P. 371–388.
417. *Verberne E.L.J., Yassink J., De Willigen P., Groot J.J.R., van Veen J.A.* Modelling organic matter dynamics in different soils. Neth. J. Agric. Sci. 1990. 38. P. 221–238.
418. *Wattenbach M., Hattermann F., Wenig R., Wechsung F., Krysanova V., Badeck F.* A simplified approach to implement forest eco-hydrological properties in regional hydrological modeling // Ecological Modelling. 2005. 187. 1. P. 40–59.
419. *Wauchope R.D.* The pesticide content of surface water draining from agricultural fields – a review // J. Environ. Qual. 1978. 7. P. 459–472.
420. Wheatley Harbour: Area of Concern. 2017. Доступно по ссылке: <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/great-lakes-protection/areas-concern/wheatley-harbour.html>.
421. *Whitehead P. G., Wilson E. J., Butterfield D.* A semi-distributed integrated flow and nitrogen model for multiple source assessment in catchments (INCA): Part I – Model structure and process equations // Sci. Total Environ. 1998. 210. P. 547–558.

-
422. *Williams J.R.* Predicting sediment yield frequency for rural basins to determine man's effect on long-term sedimentation // IAHS-AISH Publ. 1974. No. 113. P. 105–108.
423. *Williams J.R., Renard K.C., Dyke P.T.* EPIC – A new method for assessing erosion's effect on soil productivity // J. of Soil and Water Conservation Sep. Oct. 1983. P. 381–383.
424. *Williams J.R., Berndt H.D.* Sediment yield prediction based on watershed hydrology // Trans. ASAE. 1977. 20(6). P. 1100–1104.
425. *Williams J.R.* SPNM, a model for predicting sediment, phosphorus, and nitrogen from agricultural basins // Water Resources Bull. 1980. 16(5). P. 843–848.
426. *Williams J.R., Jones C.A., Dyke P.T.* The EPIC model and its application. Proc. ICRISAT-IBSNAT-SYSS Symp. on Minimum Data Sets for Agrotechnology Transfer, March 1983, Hyderabad, India, 1984, pp. 111-121
427. *Windom H.L.* Environment aspects of dredging in estuaries // ASCE J. Waterw. Harbors Coastal Eng. Div. 1972. 98. 475.
428. *Wischmeier W.H., Smith D.D.* Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. USDA Handbook No. 537. Washington, 1978. 58 p.
429. *Young R., Onstad C.A., Bosch D.D., Anderson W.P.* AGNPS: Agricultural Non-Point Source Pollution Model: a watershed analysis tool. USDA–Agricultural Research Service, Conservation Research Report 35, USDA, Washington, D.C., 1987.

СПИСОК АББРЕВИАТУР

АПК	Агропромышленный комплекс
БВУ	Бассейновое водное управление
БПК₂₀	Биохимическое потребление кислорода за 20 суток
БПК₅	Биохимическое потребление кислорода за 5 суток
БПЛА	Беспилотный летательный аппарат
БЭ	Биогенные элементы
ВЗ	Высокое загрязнение
ВКМКМС	Верхнекамское месторождение калийных и магниевых солей
ГИС	Геоинформационная система
ГМВ–МГУ	Гидрологическая модель водохранилищ, разработанная в МГУ им. М.В. Ломоносова
ГОСТ Р	Государственный стандарт России
ГСМ	Горюче-смазочный материал
ГХЦГ	Гексахлорциклогексан
ДДТ	Дихлордифенилтрихлорэтан
ДЗ	Диффузное загрязнение
ЗВ	Загрязняющее вещество
ИДЗ	Источник диффузного загрязнения
ИМК	Информационно-моделирующий комплекс
КРС	Крупный рогатый скот
КТК	Компьютерный технологический комплекс
КЭР	Комплексное экологическое разрешение
ЛГМ	Ландшафтно-географический метод
МКО	Метод конечных объемов
НДВ	Нормативов допустимого воздействия

НДС	Норматив допустимого сброса
НДТ	Наилучшая доступная технология
НИР	Научно-исследовательская работа
НКВ	Норматив качества воды
НКВ	Нижнекамское водохранилище
НПУ	Нормальный подпорный уровень (водохранилища)
ОВ	Органическое вещество
ООПТ	Особо охраняемые природные территории
ПГС	Песчано-гравийная смесь
ПДК	Предельно допустимая концентрация
ПКК	Пункт контроля качества воды
ППР	Поддержка принятия решений
ПХБ	Полихлорированные бифенилы
СКИОВО	Схема комплексного использования и охраны водного объекта
СОЗ	Стойкие органические загрязнители
СПАВ	Синтетические поверхностно-активные вещества
СТО	Стандарт организации
СУМЗ	Среднеуральский металлургический завод
ТКО	Твердые коммунальные отходы
ТМ	Тяжелый металл
ТМО	Тепломассообмен
УКИЗВ	Удельный комбинаторный индекс загрязненности воды
ХКВ	Характеристики качества воды
ХПК	Химическое потребление кислорода
ЦП	Целевые показатели качества воды водных объектов
ЭВЗ	Экстремально высокое загрязнение
ЭК	Экологический каркас
ЭКВ	Экологический каркас водосбора
ЭС	Экспертная система

Научное издание

**ДИФфуЗНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ
ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ:
ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ**

Коллективная монография
под рук. В.И. Данилова-Данильяна

Подписано в печать 01.12.2020
Формат 70x100/16
Гарнитура Times
Печ. л. 32. Уч.-изд. л. 23,10
Тираж 300 экз.

Российская академия наук

На обложке фотографии, сделанные М.А. Козловой

Верстка – Ларичева М.М.

Отпечатано ООО «Тип-Топ»

Издается в соответствии с постановлением Научно-издательского совета
Российской академии наук (НИСО РАН) от 11 февраля 2020 г. № 01
и распространяется бесплатно