Институт водных проблем Российской академии наук

Институт геохимии и аналитической химии
имени В.И. Вернадского Российской академии наук

**Н.П. Ахметьева, А.В. Михайлова,
Г.Н. Кричевец, А.Ю. Беляев**

ТОРФЯНЫЕ БОЛОТА ЦЕНТРАЛЬНЫХ ОБЛАСТЕЙ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ: ИХ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 100 ЛЕТ

Москва
ГЕОС
2020

УДК 556.5:504.062
А 98
ISBN 978-5-89118-811-2

Торфяные болота центральных областей Европейской части России: их трансформация за последние 100 лет / Н.П. Ахметьева, А.В. Михайлова, Г.Н. Кричевец, А.Ю. Беляев. – М.: ГЕОС, 2020. – 134 с. + Вклейка цв. 8 с.

В монографии собран новый материал по результатам полевых (экспедиционных) и лабораторных исследований по торфяникам центра Европейской части РФ (Тверская, Московская, Владимирская и Рязанская области). Болота этого региона подверглись сильному антропогенному воздействию: осушению, торфоразработкам, пожарам и затоплению, в отличие от торфяных болот Севера, Сибири и других областей РФ. Климатические условия образования болот и формирования торфа также не позволяют напрямую сравнивать свойства и состав торфа между этими регионами. Наиболее близкими по климатическим параметрам можно назвать болота Канады и восточной Европы, однако и здесь есть отличия, особенно по степени нагрузки и последующим восстановительным и охранным мероприятиям.

Книга написана коллективом авторов.

Наблюдения проводились более 20 лет, основной материал охватывает период 2010–2018 гг. Результаты получены с использованием современных методов исследования.

Монография представляет интерес для гидрологов, геологов, экологов, краеведов и специалистов, кто интересуется охраной и восстановлением болот, а также полезна для аспирантов и студентов.

Редактор
доктор геол.-мин. наук *Р.Г. Джамалов*

На обложке: Верховое болото Тасинский Бор, Национальный Парк «Мещера»
Фото: Г.Н. Кричевца

© Коллектив авторов, текст, рисунки, 2020
© ФГБУН ИВП РАН, 2020
© ФГБУН ГЕОХИ РАН, 2020
© GEOS Publishers, 2020

Water Problems Institute RAS
Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS

**N.P. Akhmetieva, A.V. Mikhailova,
G.N. Krichevets, A.Yu. Belyaev**

Peat Bogs of the Central European Russia: Their Transformations over the Recent 100 Years

MOSCOW
GEOS
2020

УДК 556.5:504.062
А 98
ISBN 978-5-89118-811-2

Peat Bogs of the Central European Russia: Their Transformations over the Recent 100 Years / N.P. Akhmetieva, A.V. Mikhailova, G.N. Krichevets, A.Yu. Belyaev. – M.: GEOS, 2020. – 134 p. + 8 p. color.

The book presents new data collected in field and laboratory studies of peat bogs in the central European Russia (Tver, Moscow, Vladimir, and Ryazan oblasts). The peat bogs in this region have suffered strong anthropogenic impact: draining, peat production, fires and floodings, unlike the peat bogs in the North, Siberia, and other parts of RF. The different climatic conditions of the development of peat bogs and peat formation in these regions make it impossible to directly correlate the composition and properties of peat in them. The closest in terms of climate characteristics are the peat bogs of Canada and Eastern Europe, which, however, still show some differences, especially in what regards the load on them and the restoration and protection measures.

The book was written by a group of authors.

The observations have been carried out for 20 years, the major portion of data covers the period of 2010–2018. The results were obtained with the use of modern study methods.

The book is of interest for hydrologists, geologists, ecologists, naturalists, and experts in bog protection and restoration, as well as students and postgraduates.

Editor
Dr. Sci. (Geol.-Miner.) *R.G. Dzhamalov*

On the front of the cover: Tasinskii high bog. Meshchera National Park.
Photo by G.N. Krichevets

© Group of authors, 2020
© WPI RAS, 2020
© GEOKHI RAS, 2020
© GEOS Publishers, 2020

Оглавление

Предисловие.....6
Введение (*Ахметьева Н.П.*)..... 8
Список принятых сокращений.....10
Глава 1. Современное состояние торфяных болот центральной части России (Все авторы)..... 11
1.1. Торфяное болото «Галицкий Мох» (Тверская область)..... 12
1.2. Торфяное месторождение «Озерецко-Неплюевское» и бывшие торфоразработки у поселка Изоплит (Тверская область).....28
1.3. Верховое болото Шумновское (Тверская область).....33
1.4. Низинное болото «Вешка» (Тверская область)..... 39
1.5. Заказник «Журавлиная Родина» (Московская область).....45
1.6. Болота Национального парка «Лосиный Остров» (Московская область) 56
1.7. Торфяной массив «Радовицкий Мох» (Московская область).....62
1.8. Болота Национального парка «Мещера» (Владимирская область). 72
1.8.1. Болота Национального парка «Мещерский» (Рязанская область)..... 76
1.8.2. Гидрологические особенности р. Бужа – основной реки Национального парка «Мещера»..... 80
Глава 2. Возможность использования болотных вод для питья в экстремальных условиях (*Ахметьева Н.П., Кричевец Г.Н.*).....94
Глава 3. Загрязнение торфа тяжелыми металлами (*Михайлова А.В.*)... 98
Глава 4. Сокращение площади торфяных болот в связи с их переходом в другие типы ландшафта – заболоченный луг, сельскохозяйственные поля, культурный ландшафт садово-огородных участков и селитебных территорий (*Ахметьева Н.П., Кричевец Г.Н.*) 103
Глава 5. Новые методы исследования воды и торфа (*Михайлова А.В.*) 111
5.1. Анализ воды. Определение неорганических веществ.....112
5.2. Анализ воды. Определение органических веществ..... 117
5.3. Анализ торфа и почв. Определение органического углерода (общего содержания органического углерода)..... 118
Заключение (*Ахметьева Н.П.*)..... 123
Литература 127

.

Предисловие

Монография написана по результатам полевых и лабораторных работ по болотам центральных районов европейской части России (РФ), выполненных с 2000 по 2018 гг., а также авторского математического моделирования процесса подтопления болот.

Работы проводились по плановой теме лаборатории гидрогеологических проблем охраны окружающей среды Института водных проблем РАН, а также при поддержке грантов: 1) гранта РФФИ 14-05-00555 «Пожары на болотах: экологические последствия и динамика восстановления» (2014-2016 гг., руководитель: с.н.с., к.г.-м.н. Н.П. Ахметьева), 2) гранта РФФИ 05-05-65013 «Миграция загрязняющих веществ в болотных массивах с учетом гистерезиса процессов сорбции-десорбции: разработка математической теории; экспериментальные исследования и численное моделирование» (2005-2007 гг., руководитель: с.н.с. к.ф.-м.н. А.Ю. Беляев), 3) издательского гранта РФФИ книги «Экологическое состояние природных вод водосбора Иваньковского водохранилища и пути по сокращению их загрязнения» М.: URSS. 2008. 240 с. (руководитель: с.н.с., к.г.-м.н. Н.П. Ахметьева), 4) издательского гранта РФФИ книги «Родники долины верхней Волги и ее притоков: условия формирования, режим, охрана». Тверь: Купол. 2014. 255 с. (руководитель: с.н.с. к.г.-м.н. Е.Е. Лапина).

В 2000-2009 гг. болота изучались с точки зрения возможности использования торфа в качестве органического удобрения, возможности использования небольших болот как хранилищ животноводческих стоков (болото Вешка). В связи с этим были проведены лабораторные работы по изучению сорбционных свойств торфа по отношению к биогенным элементам (азоту, фосфору, калию и сульфат-ионам).

После опустошительных торфяных пожаров 2010 г. авторы стали изучать болота с точки зрения их сохранения, т.е. подтопления в противопожарных целях, их охраны и трансформации в другой тип ландшафта.

В книге приведены новые материалы по содержанию металлов и редких элементов в торфе, также описаны новые лабораторные методы определения органического вещества и результаты их опробования на торфах изученных месторождений; впервые приведены микробиологические исследования изучаемых торфов естественных и пирогенных. В книге использованы последние работы по болотам Канады, Бельгии и Франции (переводы с французского П.Н. Ахметьевой), по восточной и северо-восточной Европе (переводы с английского Г.Н. Кричевца), а также по Белоруссии.

Монография содержит таблицы и иллюстрации (рисунки), нумерация

сквозная. Черно-белые рисунки расположены по тексту, а цветные – в конце книги. Авторы благодарят сотрудников ИВП РАН – Лапину Е.Е., Кудряшову В.В., Ерощенко С.А., Гринченко О.С., Лолу М.В., Букрееву О.П., Хрусталеву Л.И., Белоусову А.П., Медовара Ю.А. и Федорову Л.П.; ГЕОХИ РАН – Зуева Б.К., Линника В.Г., Кравца К.Ю., Кузьмина И.И.; ИНМИ РАН – Белову С.Э., Куличевскую И.С., Дедыш С.Н.; ВлГУ – Амелина В.Г.; НП «Мещера» – Дроздову З.Н., Возбранную А.Е.; а также Ахметьева В.М. за помощь в проведении полевых работ и лабораторных исследований, а также обработке материала и обсуждении результатов.

Введение

В книге дается описание современного состояния торфяных болот в центральном районе Европейской части России – в Московской, Тверской, Владимирской и Рязанской областях. Исследованы торфяные массивы: Галицкий Мох, Озерецко-Неплюевский, Изоплит, Шумново, Вешка (Тверская область); Журавлиная Родина с примыкающими Дубненскими болотами, Лосиный остров (Московская область) и НП «Мещера» (Владимирская и Рязанская области).

В центральной части России торфоразработки начались, главным образом, в конце XIX в., но значительный рывок в этом направлении произошел в начале XX в. для снабжения топливом крупнейшей в то время Шатурской электростанции. Она проработала на торфе с 1920 по 1990-е гг. Практически все торфоразработки в Московской, Владимирской, Рязанской и даже Кировской областях работали для снабжения Шатурской электростанции. Тверской торф поступал, главным образом, на Калининскую электростанцию. Площади торфоразработок к 1990-м гг. составляли около 850 тыс. га.

В 1960–1980-е гг. XX в. в нашей стране проводились широкомасштабные работы по осушению болот для сельского хозяйства и лесоводства. На заброшенных торфоразработках и осушенных торфяниках в последние годы стали происходить торфяные пожары. Наиболее мощными и опасными, как для человека, так и окружающей среды, были пожары 1972, 2002 и 2010 гг. В результате значительной антропогенной нагрузки на болота, в торфе произошли необратимые изменения его физико-химических свойств. Смена анаэробных условий на аэробные привела к изменению химического состава торфа и болотной воды, изменению растительного покрова и микрофауны торфа, изменению гидрологической обстановки и связанному с ней изменению положения уровня болотных вод, коэффициента фильтрации торфа, снижению свойства набухания торфов (особенно пирогенных), их сорбционных свойств и др.

В связи со значительной антропогенной нагрузкой болот в центральной части России они теряют свое главное предназначение – быть регулятором водного питания рек, озер и водохранилищ, а также быть основным депонентом углекислого газа из атмосферы. По данным экспериментальных исследований болота средней полосы России поглощают около 40 г/кв.м в год углерода. А в результате торфяных пожаров в атмосферу выделяются значительные количества углекислого газа – приблизительно 15% от мировых выбросов газа за счет сжигания каменного угля и углеводородов. По данным некоторых исследователей на верховых болотах центральной части России поток углекислого газа при пожаре составляет 0.22–2.97 кг С/кв.м в год [1, 2].

В настоящее время можно уже с уверенностью сказать, что болота являются основным очистителем атмосферы от углекислого газа. Они поглощают углекислого газа даже больше, чем леса (с одной и той же площади).

Естественные болота являются надежным фильтром для метана. Образующийся при разложении органического вещества в болоте метан не попадает в атмосферу, благодаря жизнедеятельности метанотрофных бактерий, которые живут близ уровня болотных вод. Но в результате антропогенной нагрузки, особенно после торфяных пожаров, метанотрофные бактерии погибают, и метан свободно поступает в атмосферу.

Учитывая важную роль торфяных болот в природе, их влияние на депонирование углекислого газа и сокращение эмиссии метана в атмосферу, болота требуют охраны, более внимательного к ним отношения. Для сохранения болот необходимо проводить рекультивацию, затопление или подтопление выработанных и осушенных торфяных месторождений, в некоторых случаях рациональное выращивание на них влаголюбивой растительности, например тростника, из которого изготавливаются пеллеты для отопления. Традиционное использование торфа в качестве топлива в настоящее время неактуально. В небольшом количестве его можно использовать в сельском хозяйстве, в бальнеологических целях, в редких случаях – для отопления небольших поселков и деревень, расположенных рядом с бывшими торфоразработками.

Список принятых сокращений

РФ – Российская Федерация
ФО – федеральный округ
МО – Московская область
РО– Рязанская область
П – поселок
ОВ – органическое вещество
ГВ – гуминовые вещества
ГК – гуминовые кислоты
m – масса образца, мг
N, n – число параллельных определений
x_i – измеренное значение при количестве опытов $i = 1, 2, \ldots, n$
t – время, сек; коэффициент Стьюдента
w – влажность, %
A^d – зольность, %
M_Z – минерализация воды, мг/дм^3
y – цветность воды, градусы цветности по Pt-Co шкале цветности (шкала Хазена)
ПО – перманганатная окисляемость воды, мг О/дм^3; перманганатная окисляемость водной вытяжки торфа, мг С/100 г сухого торфа;
$C_{орг}$ – содержание органического углерода, %
Eh – окислительно-восстановительный потенциал (ОВП)
pH – водородный показатель, ед. pH
БПК5 – биохимическое потребление кислорода после 5 дней инкубации
У.э.в. – удельная электропроводность воды, мСм/м
V – степень насыщенности почвы основаниями, %
H – гидролитическая кислотность почвы, мг-экв/100 г сухого торфа
S – сумма поглощенных оснований, мг-экв/100 г сухого торфа
УБВ – уровень болотных вод, м
УГВ – уровень грунтовых вод, м
ЗВ – загрязняющие вещества
REEs – редкоземельные элементы
НП – национальный парк
ООПТ – особо охраняемые природные территории
ИСП-МС – масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой
ИСП-АЭС – атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой

Глава 1. Современное состояние торфяных болот центральной части России

Интенсивное развитие торфоразработок в центральных районах РФ началось в первые годы XX столетия, когда в 1909 г. русский энергетик Р.Э. Классон выдвинул идею строительства торфяной электростанции в Богородском уезде Подмосковья на местном сырье – торфе. В 1913 г. первая в России электростанция на торфе «Электропередача» выработала электроэнергию.

Это первый опыт применения торфа для выработки электроэнергии; первая очередь электростанции мощностью 10 000 кВт снабжала электроэнергией свои торфоразработки, Москву, Орехово-Зуево, Павловский Посад, Ногинск. Снабжали, главным образом, текстильные фабрики и кирпичные заводы. Добыча торфа составила в 1914 г. ~1.7 млн тонн.

В первые годы Советской власти стали широко использовать торф в народном хозяйстве; с 1918 г. началось широкомасштабное изучение торфяных месторождений. Планом ГОЭЛРО предусматривалась постройка 5 крупных электростанций на торфе. Добыча и потребление торфа, в первую очередь как топлива, стали развиваться быстрыми темпами. В 1925 г. была построена Шатурская электростанция. Для ее обеспечения топливом производилась добыча торфа в Московской области на Петровском, с 1930 г. – на Бакшеевском, с 1935 г. – на Туголесском предприятиях, а также практически на всех торфопредприятиях Владимирской и Рязанской областей.

История строительства Шатурской станции достаточно полно отражена в материалах краеведческого музея г. Шатура. Музей был основан в 1989 г., в настоящее время он расположен в отремонтированном здании бывшего торфотреста Шатура. Посетив музей летом 1916 г., мы узнали много интересного и главное — историю развития торфяного дела в центральных районах Московской области в фотографиях. Первые годы строительства электростанции проходили в тяжелейших условиях — разрабатывались торфяники близ озера Черное ручным способом, когда слегка осушенный торф грузили в плетеные корзины и вручную относили их для погрузки в вагоны. Причем, главной рабочей силой были женщины. Только к 1935 г. добыча торфа стала механизированной, к 1940 г. стал внедряться фрезерный способ. Вопросами разработки торфа тогда занимался И.И. Радченко, много сделавший для развития торфяной промышленности. В 1912-1914 гг. он организовал торфоразработки для строящейся первой электростанции на торфе «Электропередача», затем в 1930-ые годы он возглавлял торфоразработки «Галицкий Мох» в Тверской области, где создал Торфяную опытную станцию и заложил основу для научно-исследовательского торфяного института.

Труд на торфоразработках был крайне тяжелым, многие работы выполнялись вручную. В г. Шатура, перед зданием краеведческого музея стоит памятник в полный рост женщине – торфянице (скульптор С. Удальцова) с

Рис. 1. Памятник работницам торфоразработок на Комсомольской площади перед Шатурским краеведческим музеем.

большой корзиной для торфа на плече, прозванной в народе «торфушкой» (рис. 1).

1.1. Торфяное болото «Галицкий Мох» (Тверская область)

Торфяное болото «Галицкий Мох» расположено в Конаковском районе Тверской области, между железнодорожной станцией Редкино и поселком имени Радченко (рис. 2).

Болото занимает площадь около 2635 га, запасы торфа – 9595 тыс. т (оценка 1955 г.), средняя мощность торфа 1.83 м, максимальная 4.5 м. Торф преимущественно мезотрофный, его зольность ~15%, степень разложения – 20–55%. Торф разрабатывался в 1920-1940-е и послевоенные 1950-1980-е гг. XX в. Рядом с болотом в 1927 г. была построена Торфяная опытная станция (ТОС), на основе которой в 70-е годы был создан научно-исследовательский институт торфяной промышленности (ВНИИТП), успешно работавший до 1994 г. В институте проводились научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по изучению природного торфа, разрабатывались методы его использования, способы добычи. В 1988 г. на его основе было организовано научно-производственное объединение «Радченкоторф». В настоящее время торфяные болота выработаны, сохранились пруды на местах прежних

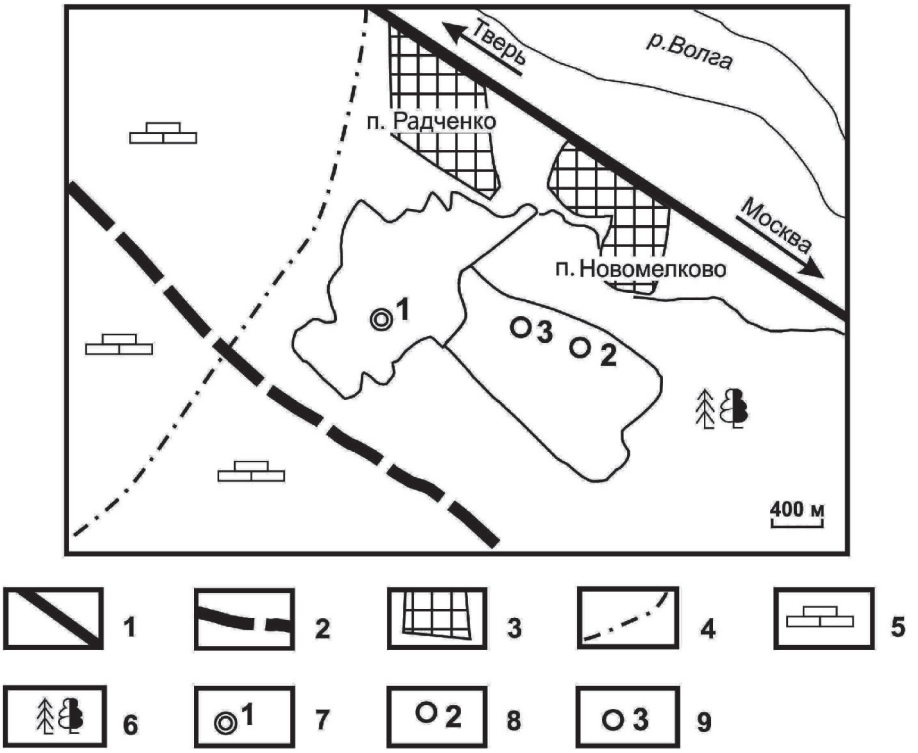

Рис. 2. Карта расположения торфяника «Галицкий Мох» за поселком Радченко.
1 – федеральная автомобильная дорога «Россия» (М10); 2 – новая супертрасса «Нева» (М11); 3 – территория поселков; 4 – канал Редкино–Волга; 5 – осушенные торфоразработки; 6 – лес на осушенном торфянике: 7 – мониторинговая площадка; 8 – место отбора проб для микробиологического анализа из естественного мезотрофного торфа; 9 – место отбора проб для микробиологического анализа из осушенного мезотрофного торфа.

торфяных карьеров, длиной в 250 м и шириной в 50 м, полуразрушенные мелиоративные каналы.

Сотрудники Института водных проблем РАН проводили исследования по Галицкому болоту около 20 лет (с 1998 г. по настоящее время). Целью исследований в начальные годы было изучение сорбционных свойств торфа по отношению к биогенным веществам (N, P, K, SO_4), содержания органического вещества, возможности использования торфа в сельском хозяйстве. Были выполнены химические анализы торфа по разрезу пород до минерального основания и химические анализы болотных вод.

В последние годы (2010-2016 гг.) основное внимание уделялось изучению торфяных пожаров, изменениям свойств торфа и химического состава болотных вод после пожаров, экологическим последствиям пожаров. Работы стали проводиться в содружестве с ГЕОХИ РАН, микробиологами из Института микробиологии РАН и ботаником из ИВП РАН.

Пожар 2010 г. затронул восточную часть Галицкого болота, выгорела площадь около 1500 кв.м (см. Вклейку, рис. 3, 4). В результате пожара, длившегося два с половиной месяца (июль–август–половина сентября) сгорели деревья высотой до 5 м и выгорел торф на глубину до 0.3 м, превратившийся в золу желтого или почти черного цвета, произошли неравномерные просадки торфяной поверхности.

Для изучения последствий пожара (физико-химических свойств торфа, болотной воды, восстановления растительности на гарях, изменений в микробном сообществе пирогенного торфа, гидрологического режима и др.) на выгоревшем участке торфа была заложена мониторинговая площадка. Она находится в 50 м от старой полуразрушенной мелиоративной канавы, глубиной около 1.0-1.2 м, вскрывшей подстилающие песчано-глинистые флювиогляциальные отложения. Здесь каждый год летом (преимущественно в период летней межени в августе–сентябре), в течение шести лет (с 2010 по 2016 гг.) проводились исследования – бурилась скважина ручным вращательным способом до минерального основания с отбором образцов торфа, проб болотной воды, замером его уровня, отбором проб торфа на определение его влажности и элементного состава, отбором специальных проб выше и ниже УБВ на микробиологический анализ.

В августе 2010 г. на Галицком болоте, продолжавшем еще гореть (тлеть) на отдельных участках, заложен шурф. Его разрез следующий:

0.0–0.1 м	зола почти черного цвета, дымящаяся, рассыпчатой структуры, с горячими угольками (коксиком) диаметром 1.5-2.0 см
0.1–0.2 м	торф обгоревший, как шлак, темно-коричневого цвета, горячий наощупь
0.2–0.3 м	прослой золы желто-рыжей окраски, горячей наощупь
0.3–0.4 м	торф темно-серой окраски, горячий, дымящийся
0.4–0.7 м	торф темно-коричневый, пластичный, теплый наощупь
0.7–0.8 м	суглинки серые, уплотненные, однородные, холодные наощупь

Уровень болотных вод расположен на глубине 0.8 м.

Следует отметить, что в первые 1–2 года после пожара происходят наиболее интенсивные изменения в физико-химических свойствах золы, пирогенного торфа, болотной воды и микробном сообществе. Установлено, что угли в верхней части разреза могли образоваться при температуре 300-400 ºС. Торф, обгоревший как шлак, имел температуру при пожаре около 150-200 ºС, прослой золы желто-рыжей окраски и темно-серый торф образовались при сгорании торфа при температуре около 200 °С. Торф на глубине 0.4-0.7 м теплый на ощупь, имел температуру около 70-80 °С, т.к. полиэтиленовые мешки, в которые были положены отобранные образцы, оплавились.

На следующий год после пожара в августе 2011 г. были отмечены изменения в разрезе: верхние слои торфа выгорели на глубину до 0.3 м, на неровной по-

Таблица 1. Химический состав водной вытяжки из золы и пирогенного торфа болота «Галицкий Мох» за август 2010-2015 гг., а также негорелого торфа (2006 г. – до пожарный период)

Показатель	Фон – природный торф (2006 г.)	Год					
		2010	2011	2012	2013	2014	2015
УБВ, м	0.65	0.8	0.6	0.35	0.5	1.0	0.7
Горизонт 1, 0.1÷0.15 м (зола)							
pH	6.0	7.4	6.2	8.2	8.2	7.8	7.9
Цветность водной вытяжки, град. цветности	110	178	135	150	31	144	179
ПО, мг С/100 г	100	87	52.7	43.7	5.6	91.2	28.3
мг/100 г золы							
$P_{кирс.}$*	1.8	121	2	1.19	36.5	28.5	28.7
SO_4^{2-}	2.9	99	345	165	47.5	158	48.7
Ca^{2+}	4.6	25.8	16.3	10.5	51.5	182	102.8
$Fe_{общ.}$	187	152	185	154	8.87	15.7	2.74
$N\text{-}NH_4^+$	1.33	7.4	3.37	24.9	6.8	5.8	2.4
$N\text{-}NO_3^-$	68.3	1.75	11.1	2.84	3	2	6.4
Горизонт 2, 0.3÷0.4 м (пирогенный торф)							
pH	4.2	6.7	7.1	7.6	7	6.2	6.9
Цветность водной вытяжки, град. цветности	90	203	65	<5	10.5	300	223
ПО, мг С/100 г	68	60	6.1	61.6	44.6	189	59.5
мг/100 г сухого торфа							
$P_{кирс.}$	3.37	16.7	17	24	6	2.27	2.25
SO_4^{2-}	23.4	59	20	450	517.1	424	181.9
Ca^{2+}	2.0	80	14	14	89.2	182	74.4
$Fe_{общ}$	633	1068	56	69	12.4	376	6.88
$N\text{-}NH_4^+$	55.1	6.6	1.64	6.4	21.3	11.9	0.39
$N\text{-}NO_3^-$	1.89	2.04	0.72	7.93	2.1	4.3	14.2

Примечание. В табл. 1 – $P_{кирс.}$ – подвижные (доступные) формы фосфат-ионов, определенные по методу Кирсанова и перерасчитанные на «фосфор».

верхности лежала зола ярко-коричневого цвета, сыпучая, с редкими включениями черных угольков, мощность слоя – 0.1-0.15 м. Глубже залегал торф почти черный, средней степени разложения, с включениями обгоревшей древесины, стволиков и листьев осоки. УБВ – 1.0 м.

В июне 2012 г. площадка, где проводился отбор образцов, сильно заросла крапивой, кипреем и порослью ивы. В понижениях рельефа стояла вода. Отбор образцов произвели на выровненной несколько приподнятой поверхности. Сверху слой золы отсутствовал. На глубине 0.0-0.3 м залегал торф обгоревший, почти черный, пластичный, однородный. Глубже 0.3 м в торфе встречались несгоревшие стволики деревьев. УБВ стоял на глубине 0.2 м.

В августе 2012 г. площадка заросла буйной растительностью. Сверху залегала зола ярко-рыжего цвета мощностью до 0.3 м. Под ней – торф, черной окраски, обгоревший, плотный, ниже 0.45 м залегал торф не обгоревший, пластичный, влажный. УБВ установился на глубине 0.35 м. Результаты химического состава золы и торфа за период наблюдений 2010-2015 гг. даны в табл. 1.

Сравнивая результаты за 2010-2015 гг. с данными до пожарного периода (фоном), можно сделать выводы:

– наиболее резкие изменения произошли в период 2010-2012 гг.;

– значения pH в горевших торфах значительно повысилось (до 8.2 ед. pH);

– содержание сульфат-ионов в горевших торфах увеличилось в 55 раза, в более глубоких слоях – в 18-20 раз;

– степень насыщенности основаниями повысилась в 2-10 раз (вверху разреза);

– значение суммы щелочных металлов (ионов Na и K) также увеличилось в 2-7 раз;

– значительно увеличились сухой остаток и зольность;

– величина азотных соединений местами снизилась, в связи с разложением азотных соединений при высокой температуре;

– к 2015 г. значение pH остается повышенным (7.9 ед. pH);

– содержание сульфат-ионов несколько снизилось, но по-прежнему выше фонового в 10 раз;

– содержание кальция и фосфора остается высоким;

– содержание органики в верхних слоях пирогенного торфа остается в 3 раза ниже фонового.

Особый интерес представляет органическое вещество торфа. Содержание $C_{орг.}$ в горелых торфах снижается до 37-40% (в негорелом торфе его содержится около 50%), а в золе составляет по нашим данным 5-18%. В связи с этим, показатель ПО в горелом торфе ниже, чем в негорелом. Содержание азота органического также уменьшается от природного торфа до золы от 3 до 1.8% (табл. 2).

Таблица 2. Результаты анализа торфа методом пиролизной хроматографии

Образец	Определяемые элементы, %			
	Азот	Углерод	Водород	Сера
Торф природный	3.00 ± 0.09	50.2 ± 0.3	5.55 ± 0.10	< 0.1
Торф горелый	2.20 ± 0.07	39.8 ± 0.3	5.2 ± 0.1	< 0.1
Торфяная зола	1.76 ± 0.0	4.96 ± 0.1	0.49 ± 0.04	< 0.1

После пожаров сильно меняются водно-физические свойства горелых торфов. Коэффициент фильтрации пирогенного торфа по нашим лабораторным исследованиям составляет 1.9-100 м/сутки, тогда как в естественных условиях он равен 1.4-11.5 м/сутки (по вертикали). Зола обладает очень высоким коэффициентом фильтрации – до 100 м/сутки.

Для естественных мезотрофных торфов месторождения «Галицкий Мох» характерна высокая влагоемкость. Для мезотрофного торфа она составляет

600% и выше, в зависимости от состава и степени разложения торфа. Пирогенный торф на болоте «Галицкий Мох» имеет максимальную влагоемкость на глубинах 0.1, 0.2, 0.4, 0.55 и 0.7 м соответственно 49, 71, 117, 105 и 93%. Гигроскопическая влажность этих же слоев горелого торфа составила 22.2, 10.4, 9.5, 9 и 5.4% соответственно.

Наши наблюдения 2016-2018 гг. свидетельствуют о том, что зольный горизонт претерпевает заметные изменения – накапливается органическое вещество за счет листопада и отмирания травы, снижаются значения pH и содержания азота аммонийного и нитратного, однако они далеки от фоновых. Возможно, что полного восстановления поверхностного горизонта не произойдет. В настоящее время, в изменившихся гидрологических условиях, когда коэффициенты фильтрации пирогенных торфов увеличились в десятки раз, а свойство набухания торфов снизилось в сотни раз, УБВ устанавливается по-другому – лишь в весенний период в течение 2-2.5 месяцев он стоит близ поверхности земли, но уже в июне, как правило, снижается до 0.3-0.4 м, а в период летней межени (июль–август–сентябрь) снижается до 0.8-1 м. Зимой УБВ остается низким. В таких условиях – при доступе кислорода – развиваются почвенные процессы, которые лишь весной на непродолжительное время сменяются на условия, характерные для торфообразования. Интересно отметить, что в сентябре 2018 г. на глубине 0.2 м (под дерниной) во вновь образованном маломощном гумусовом горизонте на исследуемой мониторинговой площадке был обнаружен дождевой червь длиной 10-12 см, диаметром 3 мм. Известно, что в болоте дождевые черви не встречаются, по мнению почвоведов, их присутствие свидетельствует о смене почвообразовательных процессов.

Наши исследования показали, что после пожаров меняется химический состав, как торфов, так и болотных вод. В торфе выгорает, прежде всего, органическое вещество, в результате чего торф становится пористым, более водопроницаемым, происходит выпаривание воды и повышение концентрации большинства химических элементов, меняется также физико-химическая обстановка (pH раствора, насыщенность кислородом и другими газами, температура и др.). В табл. 3 дан химический состав болотных вод (из колодца и шурфа), отобранных на месте пожара в 2010 г. и в последующие годы.

Болотная вода отбиралась с поверхности из колодца (глубина 1 м), вырытого на краю горевшей площадки, и из шурфа глубиной 1-1.3 м, вырытого в центре сгоревшего торфяника.

Анализируя данные табл. 3 следует отметить, что общая минерализация воды после пожара возросла в 3 раза, pH поднялся до 7.1-7.2, возросло содержание кальция, сульфат-ионов, нитратов, аммонийного азота. Изменение содержаний веществ носит скачкообразный характер, но все значения превышают данные 2003 г. (фона). В последующие годы (после 2012 г.) химический состав болотных вод более равномерно меняется в сторону уменьшения содержания химических веществ, однако в 2015 г. значения ионов SO_4 остаются выше фоновых в 5 раз, фосфора – в 2 раза, ионов NO_3 и NH_4 – в 3 раза, но значение pH достигло фонового.

Содержание металлов в горелом и негорелом торфе различное. Ниже приводится содержание металлов в торфе природном и горелом (табл. 4).

Таблица 3. Изменение химического состава болотных вод в результате пожара

Геохимический показатель	09.2003 (до пожара)	Колодец				Шурф			
		08.2010	0.8.2011	06.2012	0.8. 2012	2011	2012	2013	2015
pH	6.1	7.1	7.2	6.5	6.6	5.1	7	6.6	6.1
ПО, мг О/дм^3	59.4	12	31	90	25	99	36	30	25.6
БПК$_5$, мг О/дм^3	нет данных –	–	–	7.3	–	–	–	–	–
у, град. цветности	450	191	80	–	105	120	90	110	90
Eh, мВ	–0.52	–	–	–	–0.37	–	–	–	–
мг/дм^3									
M$_z$	127	249	377	200	302	–	–	–	–
HCO_3^-	1.6	182	4	153	216	30.5	90	134	91.5
NO_3^-	0.3	6.2	0.29	15.3	1.3	1.7	4.1	0.88	0.95
NO_2^-	0.01	-	0.022	0.035	0.03	0.02	0.24	-	0.02
NH_4^+	0.54	3.84	1.5	1.04	0.3	1.6	6.5	8.5	1.5
Cl^-	1.3	4	4	4.8	10	2.9	11	5.5	4.4
SO_4^{2-}	22	10	25	127	67	7.8	308	110	133
PO_4^{3-}	0.1	0.57	0.31	0.12	0.52	0.49	0.07	0.08	0.19
Ca^{2+}	1.8	50.0	–	110	4.3	–	–	–	–
Mg^{2+}	3	7.3	–	–	0.7	–	–	–	–
Fe$_{общ.}$	5.7	4.2	1.6	1.6	2.1	2.5	20.8	3.38	0.2

Таблица 4. Металлы в золе и торфе болота «Галицкий Мох», мг/кг и %

Показатель	2010 год		2011 год			
	горелый, h = 0.3 м	негорелый, h = 0.7 м	зола с поверхности	зола, h = 0.15 м	зола, h = 0.3 м	негорелый, h = 0.5 м
1	2	3	4	5	6	7
Масса золы, г	2.39	4.52	3.84	1.32	4.97	0.14
Масса воздушно сухого торфа, г	5.08	5.27	4.82	5.07	5.05	5.05
Гигроскопическая влажность, %	7.28	2.09	4.8	46.9	0.5	70.3
Литий Li	1.12	0.42	1.89	0.284	0.002	0.601
Бериллий Be	3.69	0.66	1.13	2.22	0.013	1.31
Бор B	10.37	3.99	13.25	8.25	0.4	55.32
Натрий Na, %	0.016	0.007	0.026	0.005	н.о.	0.003
Магний Mg, %	0.11	0.028	0.099	0.088	н.о.	0.48
Алюминий Al, %	0.517	0.22	0.554	0.253	0.011	0.39
Кремний Si, %	0.501	0.197	0.592	0.22	0.01	0.73
Фосфор P, %	0.09	0.05	0.406	0.038	0.004	0.287
Калий K, %	0.015	0.009	0.027	0.005	0.001	0.007
Кальций Ca, %	3.26	0.78	5.04	2.253	0.025	15.06
Скандий Sc	4.93	1.85	5.51	5.29	н.о.	12.8
Титан Ti	181.78	76.36	153	202.8	3.5	400.1
Ванадий V	392.66	143.04	181	413.4	3.41	174.58
Хром Cr	49.29	12.95	41.08	46.43	н.о.	83.57
Марганец Mn	73.7	44.1	271.65	100.69	0.87	515.86
Железо Fe, %	0.58	0.17	1.12	0.72	н.о.	7.46
Кобальт Co	1.07	0.49	0.54	0.51	0.005	3.77
Лантан La	30.1	6.5	12.9	14.4	0.7	5.09
Церий Ce	83.8	18.1	33.9	41.2	1.6	15.5
Празеодим Pr	9.57	2.04	4.4	4.3	0.2	2.01
Неодим Nb	44.1	9.2	21.2	21.3	0.7	11.1
Самарий Sm	10.9	2.2	5.7	5.5	0.2	3.3
Европий Eu	2.56	0.5	1.4	1.4	0.03	0.97
Гадолиний Gd	12.65	2.77	7.2	1.08	0.2	4.96
Тербий Tb	1.7	0.4	1.03	1.05	0.02	0.8
Диспрозий Dy	10.4	2.39	6.6	6.6	0.1	5.8
Гольмий Ho	2.2	0.6	1.67	1.5	0.02	1.5
Эрбий Er	6.7	1.69	5.6	4.58	0.06	5.4
Тулий Tm	0.92	0.24	0.8	0.7	0.01	0.8
Иттербий Yb	6.03	1.64	5.7	4.35	0.05	5.6
Лютеций Lu	0.97	0.27	0.9	0.74	0.01	0.9
Иттрий Y	65.1	16.4	51.2	42.3	0.6	43.6
Скандий Sc	4.9	1.9	5.5	5.3	н.о.	12.8
Никель Ni	4.29	1.02	н.о.	1.64	н.о.	н.о.
Медь Cu	7.29	5.78	24.88	2.75	0.003	14.57
Цинк Zn	3.57	1.88	10.96	1.4	н.о.	18.01

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6	7
Галлий Ga	1.55	0.61	1.19	0.94	0.05	1.095
Германий Ge	1.08	1.02	0.15	2.59	0.007	0.231
Мышьяк As	3.35	1.47	12.5	2.68	0.05	31.33
Рубидий Rb	1.19	0.59	1.798	0.37	0.09	0.71
Стронций Sr	55.66	19.15	144.32	40.73	2.02	261.95
Цирконий Zr	27.02	27.45	8.71	175.35	1.75	169.66
Ниобий Nb	1.4	0.35	0.79	2.18	0.01	3.375
Молибден Mo	1.002	0.33	0.65	0.96	н.о.	7.39
Рутений Ru	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
Родий Rh	0.001	0.0005	0.004	0.001	н.о.	0.0036
Палладий Pd	0.045	0.027	0.066	0.028	н.о.	0.283
Серебро Ag	0.019	0.01	0.699	0.028	н.о.	0.06
Кадмий Cd	0.123	0.024	0.427	0.11	н.о.	0.446
Индий In	0.01	0.005	0.006	0.014	0.0002	0.026
Олово Sn	0.124	0.047	0.12	0.14	0.013	0.33
Сурьма Sb	0.05	0.017	0.14	0.06	н.о.	0.47
Цезий Cs	0.17	0.06	0.17	0.04	0.005	0.075
Барий Ba	113.4	50.78	284.79	54.4	1.2	382.27
Гафний Hf	0.21	0.295	0.1	1.74	0.018	2.178
Тантал Ta	0.038	0.011	0.034	0.05	0.0001	0.089
Вольфрам W	0.89	0.24	0.52	1.56	0.011	0.48
Рений Re	0.005	0.0008	0.0005	0.002	н.о.	0.004
Осмий Os	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
Иридий Ir	0.0002	0.001	н.о.	0.003	н.о.	0.003
Платина Pt	0.002	0.005	0.0009	0.0089	н.о.	0.014
Золото Au	0.007	н.о.	0.0072	н.о.	н.о.	н.о.
Ртуть Hg	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0.018
Талий Tl	0.0009	0.005	0.002	0.001	0.0004	н.о.
Свинец Pb	1.5	0.71	14.58	0.253	0.082	0.069
Висмут Bi	0.05	0.03	0.13	0.017	0.0014	0.021
Торий Th	3.25	1.42	5.86	2.75	0.1	6.97
Уран U	3.22	0.87	3.35	1.98	0.04	6.38

Примечание. н.о. – не обнаружено.

Обращает на себя внимание повышенное содержание мышьяка (31.3 мг/кг в природном торфе, отобранном в стенке колодца с глубины 0.5 м, вырытого на краю участка, охваченного пожаром). В официально утвержденных ОДК (1995 г.) для валового содержания мышьяка показатель равен 5 мг/кг. Мышьяк относится ко 2-му классу опасности химических веществ, уступая лишь ртути и бериллию. Несколько повышено содержание меди и цинка, но они не превышают ОДК. Полученные значения по некоторым металлам говорят об антропогенном загрязнении местности.

Нами проводились ежегодные наблюдения за восстановлением растительности [3, 4]. После пожара верхние слои обгоревшего торфа и торфяная зола

Таблица 5. Видовой состав растений зоны возобновления на месте пожара 2010 г. (болото «Галицкий мох»)

Вид	Год				Обилие по шкале Друде
	2011	2012	2013	1014	
1	2	3	4	5	6
Сем. Asteraceae (Астровые)					
*Achillea millefolium L.** – тысячелистник обыкновенный	+	+	+	+	Sp.
Artemisia vulgaris L. – полынь обыкновенная	-	+	+	+	То же
Cirsium arvense (L.) Scop. – бодяк полевой	-	-	+	+	-"-
*Hieracium pilosella L.** – ястребинка волосистая	+	+	+	+	-"-
*Solidago virgaurea L.** – золотарник обыкновенный	+	+	+	+	Cop.[1] Gr.
Sonchus arvensis L. – осот полевой	-	-	-	+	Sp.
*Tanacetum vulgare L.** – пижма обыкновенная	+	+	+	+	То же
*Taraxacum officinale Wigg.** – одуванчик лекарственный	+	+	+	+	-"-
*Tussilago farfara L.** – мать-и-мачеха	+	+	+	+	Cop.[1]
Сем. Balsaminaceae (Бальзаминовые)					
*Impatiens glandulifera Royle.** – бальзамин железконосный	+	+	+	+	Cop.[1] Gr.
Сем. Betulaceae (Березовые)					
Alnus glutinosa (L.) – ольха черная	+	+	+	+	Cop.[1]
Betula pendula Roth. – береза повислая	+	+	+	+	Cop.[1]
Сем. Brassicaceae (Капустные)					
*Raphanus raphanistrum L.** – редька дикая	+	+	+	+	Sp.
Сем. Caryophyllaceae (Гвоздичные)					
Stellaria media (L.) – звездчатка средняя	-	-	+	+	Cop.[3]
Сем. Cyperaceae (Осоковые)					
Carex acuta L. – осока острая	-	+	+	+	Cop.[1]
Carex dioica L. – осока двудомная	-	+	+	+	То же
Scirpus sylvaticus L. –камыш лесной	+	+	+	+	-"-
Сем. Equisetaceae (Хвощевые)					
*Equisetum arvense L.** – хвощ полевой	+	+	+	+	Cop.[1] Gr.
Сем. Iuncaceae (Ситниковые)					
*Iuncus acutus L.** – ситник острый	+	+	+	+	Sp.
Сем.Fabaceae (Бобовые)					
Vicia crassa L. – горошек мышиный	+	+	+	+	Sp.
Trifolium pratense L. – клевер луговой	+	+	+	+	Sp.
Сем. Gramineae (Злаки)					
Bromopsis inermis leys. – кострец безостый	-	-	+	+	Cop.[1]
Calamagrostis canescens (Web.) Roth. – вейник сероватый	-	+	+	+	Cop.[2]
Calamagrostis epigeios (L.) Roth. – вейник наземный	-	+	+	+	Cop.[1]

1	2	3	4	5	6
Elytrigia repens (L.) – пырей ползучий	+	+	+	+	-"-
Phragmites australis (Cav.) Trin. – тростник обыкновенный	+	+	+	+	Cop.^{3}
Festuca pratensis Huds.– овсяница луговая	-	+	+	+	Cop.^{1}
Festuca gigantea (L.) Vill. – овсяница гигантская	-	+	+	+	-"-
Сем. Lamiaceae (Яснотковые)					
Galeobdolon luteum Huds.– зеленчук желтый	-	+	+	+	Sp.
Glechoma hederacea L. – будра плющевидная	-	+	+	+	То же
Mentha arvensis L. – мята полевая	-	+	+	+	–"–
Сем. Onagraceae (Кипрейные)					
Epilobium hirsutum L. – кипрей волосистый	+	+	+	+	Cop.^{3}
Chamaenerion angustifolium(L.) Sc. – Иван-чай узколистный	+	+	+	+	Cop.^{1}
Сем. Pinaceae (Сосновые)					
Pinus sylvestris L. – сосна обыкновенная	+	+	+	+	Sol.
Сем. Plantaginaceae (Подорожниковые)					
*Plantago mayor L.** – подорожник большой	+	+	+	+	Sp.
Сем. Polygonaceae (Гречишные)					
Persicaria gidropiper L. – горец перечный	-	+	+	+	Sp.
Сем. Rosaceae Розовые)					
Agrimonia pilosa Ledeb. – репешок волосистый	-	+	+	+	Sp.
Potentilla anserine L. – лапчатка гусиная	-	+	+	+	То же
Rubus idaeus L. – малина обыкновенная	-	+	+	+	Cop.^{1}
*Fragaria vesca L.** – земляника обыкновенная	+	+	+	+	Sp.
Сем. Rubiaceae (Мареновые)					
Galium verum L. – подмаренник настоящий	-	+	+	+	Cop.^{1} Gr.
Galium odoratum L.– подмаренник душистый	-	+	+	+	То же
Сем. Salicaceae (Ивовые)					
Populus tremula L. – осина	+	+	+	+	Sp.
Salix caprea L. – ива козья	+	+	+	+	Cop.^{1}
Salix triandra L. – ива трехтычинковая	+	+	+	+	То же
Сем. Scrophulariaceae (Норичниковые)					
Veronica chamaedrys L. – вероника дубровка	-	-	+	+	Sp.
Сем. Typhaceae (Рогозовые)					
Typha latifolia L. – рогоз широколистный	-	+	+	+	Cop.^{3}
Сем. Umbelliferae (Зонтичные)					
Anthriscus silvestris L. – купырь лесной	-	+	+	+	Sp.
Сем. Urticaceae (Крапивные)					
Urtica dioica L. – крапива двудомная	+	+	+	+	Cop.^{3}

* Виды растений, входящие в нетронутые пожаром растительные сообщества и находящиеся в непосредственной близости от исследуемого участка.

Примечание. Баллы обилия по шкале Друде: Soc. (socialis) – обильно, фон; Cop.^{3} (copiosae) – очень много; Cop.^{2} – много; Cop.^{1} – довольно много; Sp. (sparsae) – мало, вкрапления; Sol. (solitaria) – единично; Un. (unicum) – единственный экземпляр; Gr.(gregarius) – встречается группами (ставится рядом с категорией обилия).

были обогащены азотом, кальцием, калием, фосфором, реакция среды стала нейтральной (вместо кислой). В связи с этим, в первые годы после пожара наблюдается бурное развитие растительности. К определению растений привлекли специалистов-ботаников Серегина А.П. из МГУ и сотрудника Института водных проблем ботаника Федорову Л.П., которые помогли нам составить табл. 5 (шкала обилия О. Друде) и высказали свое мнение о восстановлении растительности [5].

На болоте «Галицкий Мох» во время пожара 2010 г. был уничтожен почти весь растительный покров (см. Вклейку, рис. 3). В этом же году, спустя один месяц, первой на участке наблюдения отмечена пушица влагалищная (*Eriophorum vaginatum*), расселившаяся с уцелевших участков болота. Через год (август 2011 г.) на пожарище появились заросли крапивы двудомной (*Urtica dioica*), пырея ползучего (*Elytrigia repens*), камыша лесного (*Scirpus sylvaticus*). В последующие два года отмечено активное зарастание участка, и практически все пространство было занято травянистой растительностью. Древесная поросль, которая могла появиться как от сохранившихся корней некоторых деревьев, так и от занесенных ветром семян, достигала в высоту 2 м (осина, береза) и 1.5 м (ива). На более увлажненных пониженных местах зафиксированы виды мохообразных (*Marshantia polymorpha*, *Pleurozium Schreberi*), тростник обыкновенный (*Phragmites australis*), рогоз широколистный (*Typha latifolia*), купырь лесной (*Anthriscus sylvestris*), репешок волосистый (*Agrimonia pilosa*), будра плющевидная (*Glechoma hederacea*), подмаренник настоящий (*Galium verum*), золотарник обыкновенный (*Solidago vulgaris*), на возвышенных сухих местах – кипрей волосистый (*Epilobium hirsutum*), крапива двудомная (*Urtica dioica*), мать-и-мачеха (*Tussilago farfara*), полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris*).

Состав растительности, сформировавшийся к лету 2014 г. на месте пожарища, представлен 49 видами сосудистых растений, относящихся к 44 родам и 22 семействам (включая растения близлежащих луговых фитоценозов, принимающих непосредственное участие в возобновлении растительности сгоревшего участка). По видовому богатству ведущее положение занимает семейство Asteraceae (9 видов), на втором месте Gramineae (7 видов), семейства Cyperaceae, Rosaceae, Salicaceae, Lamiaceae включают по 3-4 вида. Доля этих шести ведущих семейств составляет 59%. Остальные 16 семейств представлены 1 или 2 видами, на них приходится 41%. По доминирующим семействам в возобновляемой растительности можно сделать вывод, что роль болотных видов уменьшилась. Растительность исследованного участка следует охарактеризовать как лугово-болотное травянистое сообщество.

Можно предположить, что дальнейшее развитие растительного покрова на сгоревшем участке болота будет происходить по общеизвестной схеме: вначале произойдет засев и пышное разрастание специфических растений-пионеров, затем их вытеснят некоторые светолюбивые лесные и луговые травы, появится самосев (возможно корневая поросль) деревьев. За 10-15 лет может сформироваться древесный ярус. В зависимости от того, какие сложатся условия (химический состав почвы, освещенность, водообеспеченность), будет и формироваться растительное сообщество. Через многие десятки лет может восстановиться фитоценоз, близкий к исходному типу. Но может и произойти смена

господствующих видов растений. Например, вместо соснового леса, характерного для данной местности, может сформироваться березняк, или смешанный березово-осиновый лес, или ольшаник с примесью березы и осины [6-9].

Исследования регенерации болот является важной задачей. Данное исследование направленно на изучение экологического развития бывшего торфяного болота «Галицкий Мох», ранее подверженного сильнейшему антропогенному воздействию в форме активной торфоразработки, а также дополнительно трансформированного пожарами. В ходе торфоразработок территория была осушена, что привело к нарушению существовавшей ранее анаэробной обстановки. Это стало причиной нарушения условий, способствующих торфообразованию, и создало условия, которые способствовали пожару в данной местности. В свою очередь, пожар нарушил уже существующую растительность, а также перевел часть иммобилизованных питательных элементов в доступный для растений и микроорганизмов вид. Данные происшествия однозначно нарушили существующий экологический баланс и послужили толчком для перехода исследуемой экосистемы из климакса в некое менее устойчивое состояние [10]. Ю. Одум отмечает, что дополнительное высвобождение минеральных элементов из органического материала способствует кратковременному ускорению увеличения биомассы на данной территории [11]. Теоретически это может привести не столько к тому, что будет восстановлен существовавший до этого болотный геобиоценоз, сколько к развитию геобиоценоза, не подразумевающего непрерывной консервации органического вещества.

Критерием в данном исследовании была выбрана структура фитоценоза. Причиной этому служит то, что болотная экосистема имеет достаточно четкие растения индикаторы, доминирование которых отображает характерные для болота условия.

На момент начала наблюдения (август 2010 г.) исследуемый участок был полностью выжжен. На протяжении последующих пяти лет четко наблюдалась тенденция заселения выжженных пространств травянистой растительностью. Следует отметить, что первыми данную территорию начали заселять растения, отображающие высокое содержание азота в почве: *Urtica dioica L.* – крапива двудомная, *Galium verum L.* – подмаренник настоящий, *Rubus idaeus L.* – малина обыкновенная. Помимо этого, с ними прорастают *Carex acuta L.* – осока острая и *Carex dioica L.* – осока двудомная, но при этом они не являются доминирующими видами, даже в своем ярусе. В последующие годы увеличивается видовое разнообразие, получают распространение представители астровых (сем. Asteraceae), а также широкое распространение получают злаки (сем. Gramineae). Помимо этого, важно отметить появление рогоза широколистного (*Typha latifolia L.*), который, в большинстве случаев, типичен для водоемов, болот, а также обводняемых стоков и канав. Тем не менее, его нельзя четко охарактеризовать, как растение, которое служит индикатором развивающегося болота, т.к. его распространение можно объяснить не постоянным увлажнением, а периодическим. Помимо этого, стоит отметить, что типичные для болот растения – печеночные (Marchantia polymorpha), гипновые (Pleurozium Schreberi) и сфагновые (Sphagnum fuscum) мхи отсутствуют, а осоковые (Eriophorum vaginatum) так и не стали фоновым семейством.

Итак, можно сделать вывод: за период наблюдения за восстановлением болота «Галицкий Мох» движение в сторону образования болотного фитоценоза не обнаружено. Существующие в данном фитоценозе растения, присущие болотам, не являются доминирующими, а их наличие вполне соответствует периодически увлажняемой территории. Данный фитоценоз характеризуется как разнотравно-злаковый луг и переход его в болотный фитоценоз, при условии сохранения существующих физико-химических условий, является слабо вероятным. Наиболее вероятно, что на исследуемом участке эволюция экосистемы направлена в сторону отличную от первоначальной [12].

В 2011 г. были проанализированы образцы торфа с торфяника «Галицкий Мох» для сравнения активности метанотрофных микроорганизмов с пирогенных и природных участков болота. Исследовали образец торфа № 80А – торф почти черный, средней степени разложения, тлевший в 2010 г. и образец негорелого торфа № 83А из стенки колодца [3].

Влияние торфоразработок и пожаров на микробные сообщества в торфяной залежи болот, а также вызываемые этими аномальными явлениями адаптационные процессы, пока остаются практически неисследованными. В частности, неизвестно, насколько серьезные изменения претерпевают численность и состав микробных сообществ, сбалансированное функционирование которых лежит в основе протекающих в болотах процессов трансформации органического вещества. С этой целью на примере выработанного и пирогенного болота «Галицкий Мох» проведены исследования микробного блока торфяника, степени нарушения естественных микробиологических процессов в экосистеме и способности к восстановлению нарушенных биосферных функций болота [13].

Сравнительный анализ общей численности микробных клеток в образцах торфа выгоревших и негорелых локусов болота показал, что особенно сильное негативное влияние на микробные комплексы торфа пожары оказали на следующий год после пожара. Общая численность бактерий в верхних слоях ненарушенной торфяной залежи в 2011 г. составила в среднем $1.12 \cdot 10^9$ клеток в 1 г сырого торфа (далее кл./г). На выгоревших участках болота содержание болотных прокариотов снизилось на порядок и составило $1.02 \cdot 10^8$ кл./г. Последующее зарастание пирогенных участков пионерной растительностью в ходе начавшегося естественного восстановления экосистемы, привело к увеличению общей численности микроорганизмов в 2012 г. до величин, характерных для ненарушенных локусов торфяника (рис. 5).

Исследована также потенциальная активность гидролитического блока микробных сообществ, осуществляющих деструкцию природных полимеров, в ненарушенных и выгоревших локусах торфяника. Лабораторные эксперименты с образцами торфа, отобранными с выгоревших локусов болота и обогащенными рядом биополимеров (пектин, ксилан, крахмал, целлюлоза, целлобиоза), показали полное ингибирование гидролитической активности в торфе пирогенных локусов в первый год после пожара. На второй год после пожара функциональная активность гидролитического микробного блока поднялась на более высокий уровень, близкий к активности гидролитиков в образцах ненарушенного торфа (рис. 6).

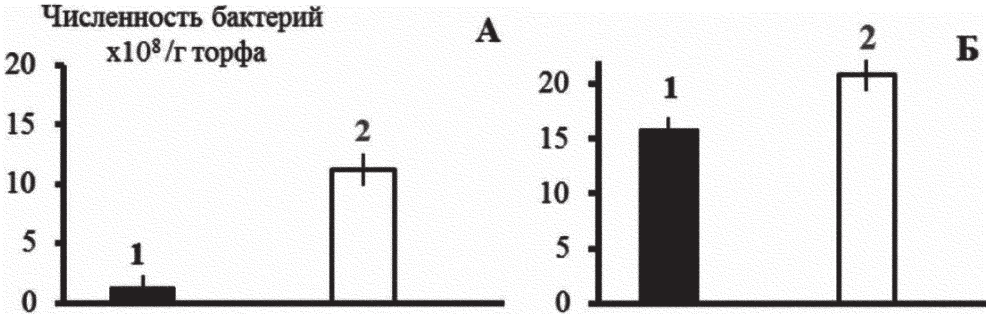

Рис. 5. Общая численность бактерий в торфяной залежи болота «Галицкий Мох», пострадавшего от пожара (1) и в торфе ненарушенного пожаром участка болота (2). А – 2011 г., Б – 2012 г.

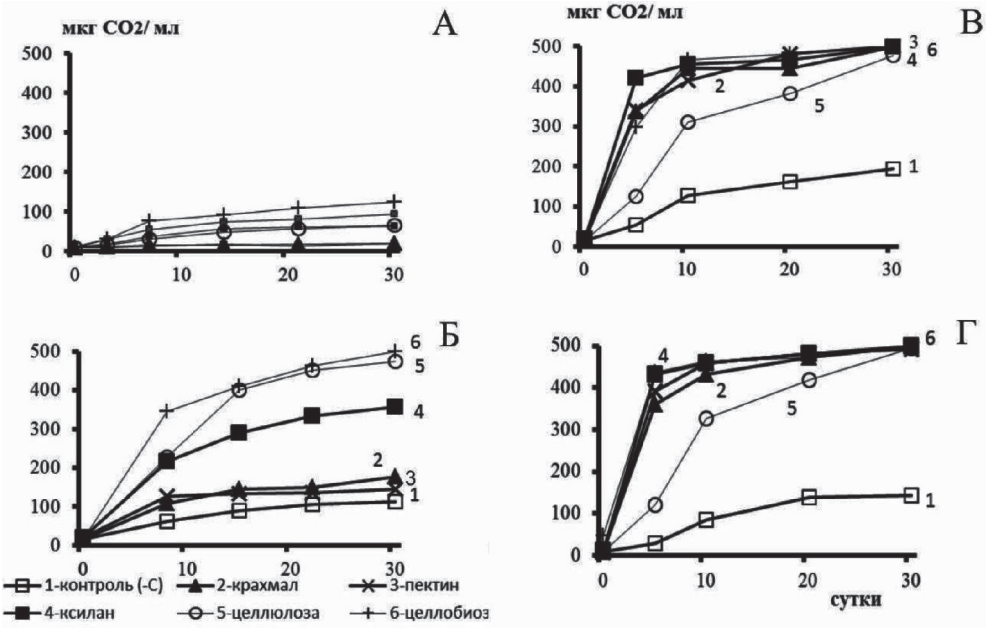

Рис. 6. Изменение гидролитической активности микробных комплексов в торфяной залежи горевших локусов болота (А, В) и ненарушенных участков (Б, Г) в 1-й (2011) год (А, Б) и на 2-й (2012) год (В, Г) после пожара.

Пожары оказали влияние на численность и состав ключевых функциональных групп бактерий торфа (табл. 6). На второй год после пожара численность органотрофных бактерий и денитрификаторов в торфе пирогенного участка была в 2 раза ниже, чем в природном. Микроскопические наблюдения за составом накопительных культур денитрифицирующих бактерий показал развитие микроколоний однотипных по морфологии толстых палочек. Микроскопическая картина сообщества денитрификаторов из торфа ненарушенного болота была более разнообразной.

Таблица 6. Численность бактерий различных функциональных групп в образцах торфа из горевшего и ненарушенного участков болота «Галицкий Мох» по данным методов посева на агаризованную среду (а) и предельных разведений (б)

Объект исследования	Число КОЕ бактерий, $N \cdot 10^7$ г$^{-1}$ сырого торфа		
	Органнотрофы (а)	Денитрофикаторы (б)	Сульфатредукторы (б)
Торф после пожара	6.6 ± 1.1	4.3 ± 1.2	9.3 ± 2.2
Торф природный	12.0 ± 2.3	7.0 ± 2.8	5.2 ± 1.8

Одним из последствий пожаров явилось существенное изменение численности и видового состава сульфатредуцирующих бактерий. В естественных условиях, сульфатредукторы являются минорным компонентом микробного сообщества торфяников в силу низкой концентрации сульфатов в болотных водах. Резкое возрастание содержания сульфатов в результате пожаров вызвало активизацию сульфатредукторов, конкурирующих с метаногенными бактериями в процессах анаэробной деструкции органического вещества. Если в торфе ненарушенного болота численность сульфатредукторов составила в среднем $5 \cdot 10^7$ кл./г, то количественный учет этой высокоспециализированной физиологической группы анаэробных бактерий в образцах торфа выгоревших локусов выявил двукратное возрастание численности сульфатредукторов ($9 \cdot 10^7$ кл./г). Анализ накопительных культур, проведенный методом *in situ* гибридизации с флуоресцентными 16S рРНК специфичными олигонуклеотидными зондами, показал, что в составе сульфатредукторов в торфе пирогенных участков доминировали споровые представители *Firmicutes*. В торфе ненарушенных локусов преобладали разнообразные морфотипы *Deltaptoteobacteria*.

Полевые измерения эмиссии метана методом статических камер не выявили существенных различий в эмиссии метана с территории ненарушенных пожаром участков болота «Галицкий Мох» и выгоревших локусов. Потоки метана с исследованных территорий были очень низки и составляли в среднем 20 мкг $CH_4 \cdot ч^{-1} \cdot м^2$, характеризуя выгоревший участок болота «Галицкий Мох» как экосистему с низкими активностями метаногенеза. Метанотрофные бактерии и их активность не были нами выявлены ни в образцах пирогенного торфа, ни в торфе ненарушенного пожаром участка болота. Можно предположить, что это нарушение произошло раньше, т.е. еще во время осушения болота или предыдущего пожара 2002 г.

С помощью молекулярного метода *in situ* гибридизации с флуоресцентными 16S рРНК-специфичными олигонуклеотидными зондами (FISH) изучен филогенетический состав микробного сообщества прокариот выгоревшего торфяника и проведено его сравнение с таковым в неповрежденных локусах торфяного массива. Различия в численных характеристиках отдельных филогенетических групп бактерий между выгоревшими и негоревшими участками торфяника выявлены лишь для представителей *Alphaproteobacteria*, *Deltaproteobacteria*, *Bacteroidetes* и *Planctomycetes* (рис. 7).

Таким образом, пожары кардинально изменили структуру микробных сообществ торфа и активность микробиологических процессов, оказыва-

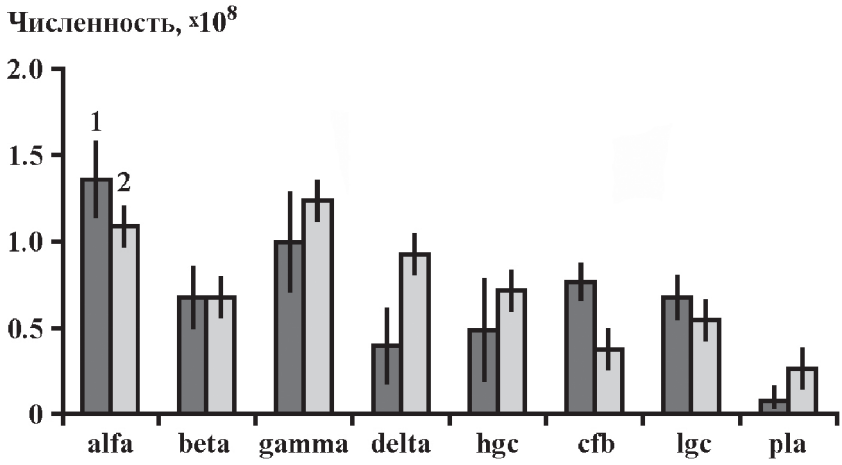

Рис. 7. Филогенетический состав бактерий в торфе горевшего (1) и ненарушенного (2) участков болота.

По оси абсцисс обозначены нуклеотидные зонды: alfa, beta, gamma, delta – специфичные для представителей филумов *Alpha*-, *Beta*-, *Gamma*-, *Deltaproteobacteria* соответственно; hgc – *Actinobacteria*, cfb – группа *Cytophaga-Bacteroides*, lgc – *Firmicutes* и pla – *Planctomycetes.*

ющих влияние на качество и состав болотных вод. В результате пожаров уменьшается численность бактерий и биологическая активность торфа, изменяется структура микробных сообществ и характер контролируемых ими микробиологических процессов. Их восстановление происходит медленно. Эти изменения на фоне заселения пожарищ новыми, нетипичными для естественных болот группами бактерий, могут иметь непредвиденные последствия.

В настоящее время Галицкое болото представляет собой площадь, изрытую полуразрушенными мелиоративными каналами, местами сильно заболоченную, местами осушенную, покрытую преимущественно хвойными лесами с примесью березы, ивы, осины. Болото испытывает значительную современную антропогенную нагрузку от двух автотрасс, проходящих к северу от него и новой платной автодороги, построенной в 2014 г. на юге болота.

В восточной части болота с 2014 г. стали проводиться работы по восстановлению болота путем его подтопления. На болоте создана экологическая тропа, демонстрирующая опыт обводнения осушенного торфяника [14].

1.2. Торфяное месторождение «Озерецко-Неплюевское» и бывшие торфоразработки у поселка Изоплит (Тверская область)

Озерецко-Неплюевское низинное болото (Конаковский район Тверской области) имеет площадь около 7 тыс. га, мощность торфа 2.0-4.0 м, средняя – 2.9 м, подстилающими породами являются сапропели, иногда суглинки, отличающи-

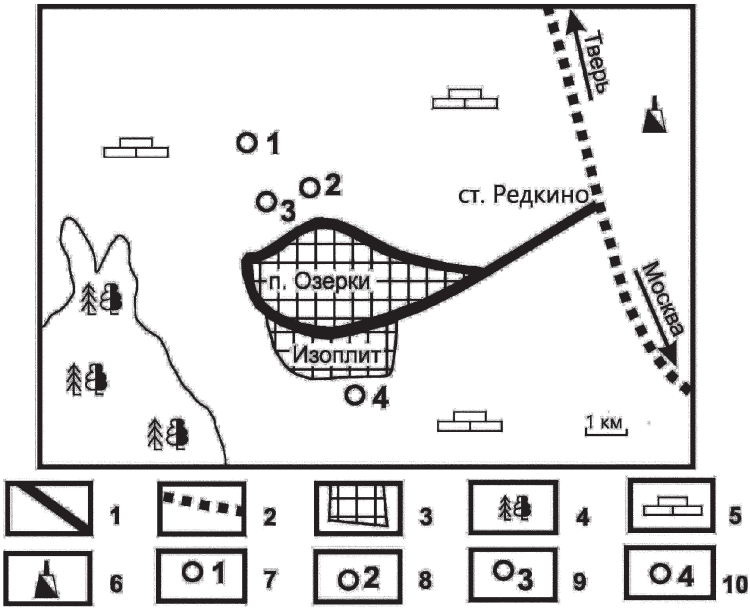

Рис. 8. Карта месторождения «Озерецко-Неплюевское» и бывших торфоразработок у п. Изоплит (Конаковский район, Тверская область).

1 – асфальтированная дорога от ж/д станции Редкино к поселкам; 2 – участок Москва-Тверь главного хода Октябрьской железной дороги; 3 – территория поселков; 4 – лес; 5 – бывшие торфоразработки; 6 – промзона; 7 – опорная скважина 2016 г.; 8 – скважина после пожара 2011 г.; 9 – место наблюдения за торфяным пожаром 2011 г.; 10 – скважина на низинном болоте у п. Изоплит.

еся низкой водопроницаемостью. Торфопредприятие создано в конце 1920-х годов. В первые годы применялись машинно-формовочные и гидравлические способы добычи торфа, после которых образовывались торфяные карьеры глубиной до 4 м. В 1960-е годы стали применять фрезерный способ добычи. Торф поступал главным образом в г. Калинин (г. Тверь) на тепловую электростанцию. В 1961 г. было освоено производство торфо-минеральных аммиачных удобрений для сельского хозяйства. Добыча торфа за период 1930-1982 гг. составила 27459 тыс. т.

Озерецко-Неплюевское болото в основном низинного типа с глубоким залеганием УБВ в 1.3-3.0 м. Торф имеет зольность 10-23%, степень разложения до 45%, значение pH водной вытяжки торфа около 6 единиц, с глубиной значение повышается до 7.0-7.5, что объясняется подпитыванием напорных вод известняков карбона, для которых характерны указанные значения. На болоте пожары случаются часто, почти ежегодно [15], благодаря глубокому залеганию болотных вод и низким значениям естественной влажности торфа.

Ниже приводим геологический разрез торфа (скв. № 1) на заброшенном поле фрезерной разработки (рис. 8):

0.0–0.15 м	дерн
0.15–0.4 м	торф черного цвета, рыхлого сложения, с редкими растительными остатками трав, слабовлажный (w = 55–56%)
0.4–1.0 м	торф черного цвета, однородной окраски, пластичный, слабовлажный (w = 56–70%)
1.0–1.5 м	торф черного цвета, липкий, однородный, без видимых растительных остатков, влажный (w = 74–81%)
с глубины 1.5 м	суглинок светло-серый, пластичный, влажный (похож на сапропель)

Залегание УБВ – 1.3 м, однако надо учитывать, что при фрезерной разработке каждый год снимается верхний слой торфа в 20 см, в связи с этим за 5 лет проведения добычи торфа этим способом снимается метровый слой торфа. Исходя из этого, можно предположить, что естественное залегание УБВ составляет около 2.3 м. Значения влажности торфа в 55-56% до глубины 0.4 м говорят об иссушении верхней части разреза, которое может привести в августе–сентябре к пожароопасной обстановке (считается, что значения влажности < 40% является критическим, при котором может возникнуть пожар) (см. Вклейку, рис. 9).

Ниже в табл. 7 приводим детальный химический состав водной вытяжки торфа из скважины № 2 (рис. 8), пробуренной на месте пожара близ п. Озерки от 01.11.2011 г. Скважина заложена на выгоревшей площадке, пониженной на 0.3 м по сравнению с земной поверхностью.

Как видно из табл. 7, в образцах №№ 108-1 и 117-7 наблюдается повышенное содержание сульфат-ионов и растворенных веществ, в образце № 109-2 повышено содержание растворенных веществ, а в образце № 116-6 – сульфат-ионов. УБВ > 2.3 м.

Химический состав болотной воды, взятой из мелиоративной канавы (см. Вклейку, рис. 10), приведен в табл. 8. Для сравнения дан состав воды из колодца и шурфа с площадки «Галицкий Мох». Характерной особенностью болотных вод Озерецко-Неплюевского месторождения является отрицательное значение Eh (до -300 мВ).

В настоящее время торфопредприятие закрыто, торфоразработки заброшены, нерекультивированы. В 2012 г. была разрушена дамба (длиной около 300 м, шириной 5 м) на р. Инюха, благодаря которой почти в центре болота был создан крупный резервуар воды для тушения пожаров и удерживания необходимого уровня воды в мелиоративных каналах. В наше последнее посещение Озерецко-Неплюевского болота в 2016 г. дамба не была восстановлена, многие мелиоративные каналы остались без воды. В 2014 г. специалисты Тверского государственного технического университета (ТвГТУ) разработали проекты по рекультивации болота, а также еще трех болот Тверской области – Оршинского, Васильевский Мох и Моховое-2. Обводнение Озерецко-Неплюевского болота началось в 2016 г. в его северной части, недалеко от д. Труново [16].

Недалеко от Озерецко-Неплюевского болота расположено такого же типа низинное болото в окрестностях п. Изоплит (см. Вклейку, рис. 11). Поселок

Таблица 7. Химический состав водной вытяжки из скважины № 2 после летнего пожара 2011 г. близ п. Озерки (пробы отобраны 1 ноября 2011 г.)

Параметр	Номер образца							
	108-1	109-2	110-3	112-4	115-5	116-6	117-7	118-8 (Сапропель)
Глубина, м	0.1-0.2	0.33-0.5	0.5	0.9	1.2-1.3	1.8	2	2.3
pH	6.5	5.6	6.1	5.7	6	6	6.6	7.5
Fe(II)	83.5	63.9	59.5	207.3	169.6	209.5	114.7	199.2
Fe(III)	7.12	7.6	3.31	5.93	6.1	14.1	3.76	58.8
$Fe_{общ.}$	90.6	71.5	62.8	213.3	175.2	223.8	118.5	257.9
$N\text{-}NH_4$, мг N/100 г	3.58	2.44	2.09	2.83	3.05	2.26	8.18	1.49
P Кирс., мгP_2O_5/100 г	40.6	15.9	2.6	1.7	5.1	4.6	21.4	46.2
A^d, %	18.4	9.8	11.3	10.6	13.9	13.7	17.8	-
ПО	94.8	98	61.2	61.2	45	47.6	39.3	4.9
Цветность водной вытяжки, град. цветности	112	196	64	72	101	80	19	7
NO_3, мг N/100 г	32.9	30.3	2.2	1.6	0.3	3.9	1.4	0.42
SO_4, мг/100 г	280.7	57.6	88.5	42.6	24	167	187.6	24
HCO_3	1.32	0.192	0.234	0.19	0.244	0.223	0.369	0.048
Cl, $n \cdot 10^{-3}$	3.78	3.94	3.89	3.88	8.08	7.8	3.9	6.65
Ca, мг-экв/100 г	12.87	3.38	3.6	3	3.13	4.88	8.17	0.62
Mg, мг-экв/100 г	2.34	1.35	1.2	1.8	1.25	1.22	2.42	0.31
Mz, г/дм^3	1	0.83	0.414	0.272	0.306	0.286	0.75	0.02

Таблица 8. Результаты химического анализа воды болот у поселков Озерки и Радченко от 01.09.2014 г.

Показатель	Озерецко-Неплюевское № 20/14	Галицкий Мох	
		Колодец, УБВ 1.2 м, № 18/14	Шурф, УБВ 1.2 м, № 19/14
pH	7.7	6.9	6.6
У.э.в., мСм/м	20 ± 2	61.8 ± 6.2	37.5 ± 3.8
ПО, мг О/дм^3	18.6 ± 1.9	22.6 ± 2.3	17.0 ± 1.7
Цветность, град. цветности	80 ± 8	62 ± 6	45 ± 6
Жесткость, мг-экв/дм^3	2.0 ± 0.2	5.33 ± 0.50	3.03 ± 0.30
$P_{общ.}$, мг Р/дм^3	0.1 ± 0.03	0.27 ± 0.04	0.17 ± 0.06
Ca^{2+}, мг-экв/дм^3	1.39	4.42	2.46
мг/дм^3			
Ca^{2+}	27.9 ± 3.1	88.6 ± 9.7	49.3 ± 5.4
Fe^{2+}	0.19	0.5	–
Fe^{3+}	0.69	1.12	–
$Fe_{общ.}$, растворенное	0.8 ± 0.1	1.62	0.30 ± 0.04
PO_4^{3-}	0.04	0.11 ± 0.02	0.06 ± 0.01
NH_4^+	0.53 ± 0.19	4.4 ± 0.9	2.0 ± 0.4
NO_2^-	0.003	0.069 ± 0.010	0.029 ± 0.007
NO_3^-	0.69 ± 0.12	1.7 ± 0.3	1.1 ± 0.2
SO_4^{2-}	1.9	110 ± 13	54.8 ± 6.7
HCO_3^-	109.8 ± 5.8	171 ± 7	128 ± 6
Cl^-	2	6	6.7
Mn	0.10 ± 0.04	1.7 ± 0.4	0.57 ± 0.23

находится на юго-восточной окраине Тверской области, в 40 км от границы с Московской областью. В 7 км от поселения проходит Октябрьская ж/д, имеется ветка от ст. Редкино до п. Изоплит (подъездные пути ОАО «Комбината Изоплит»). В состав поселения входят два поселка: поселок городского типа Изоплит (1960 жителей) и поселок сельского типа Озерки (2300 жителей).

Рядом с п. Изоплит находятся бывшие торфоразработки, большой лесной массив – Государственный Комплекс «Завидово». В многочисленных водоемах, образовавшихся на месте торфяных карьеров, в изобилии водится карась и ротан.

Основные предприятия – ОАО «Комбинат Изоплит»: 230 работающих, продукция – теплоизоляционные плиты, МУП «КХ Изоплит», ООО «ПоварЛюкс» (изготовление жаропрочной посуды).

В 20–30-е гг. XX в. торфяная промышленность стала широко внедрять новый тип продукции из торфа – торфоизоляционные брикеты. Торфоизоляционные материалы стали широко применять в промышленном и гражданском строительстве, этот период в нашей стране ознаменован строительством разнообразных заводов и цехов по производству теплоизоляционных материалов из торфа. Практически во всех уголках страны появлялись поселки с названиями Изоплит, Торфоплит, Торфокомбинат, Торфопродукт и т.п.

В 2010, 2014 и 2016 гг. мы посетили заброшенные торфоразработки Изоплит (см. Вклейку, рис. 11). Здесь была заложена скважина ручного бурения. Верхняя часть разреза представлена низинным хорошо разложившимся торфом, темно-коричневого цвета. Ниже 0.2 м торф становится почти черным, пластичным, слоистой структуры. На глубине около 0.4 м торф плохо разложившийся, волокнистый, его окраска светлеет до серой. Глубже 0.5 м торф снова становится типичным низинным хорошо разложившимся. На глубине 1.6 м торф подстилается тяжелым суглинком светло-серого цвета (возможно, сапропелем). УБВ установился на глубине 1.5 м.

1.3. Верховое болото Шумновское (Тверская область)

Шумновское болото расположено в 3 км от г. Конаково Тверской области, на третьей террасе р. Волги, на ее правом берегу (рис. 12). Площадь болота 178 га,

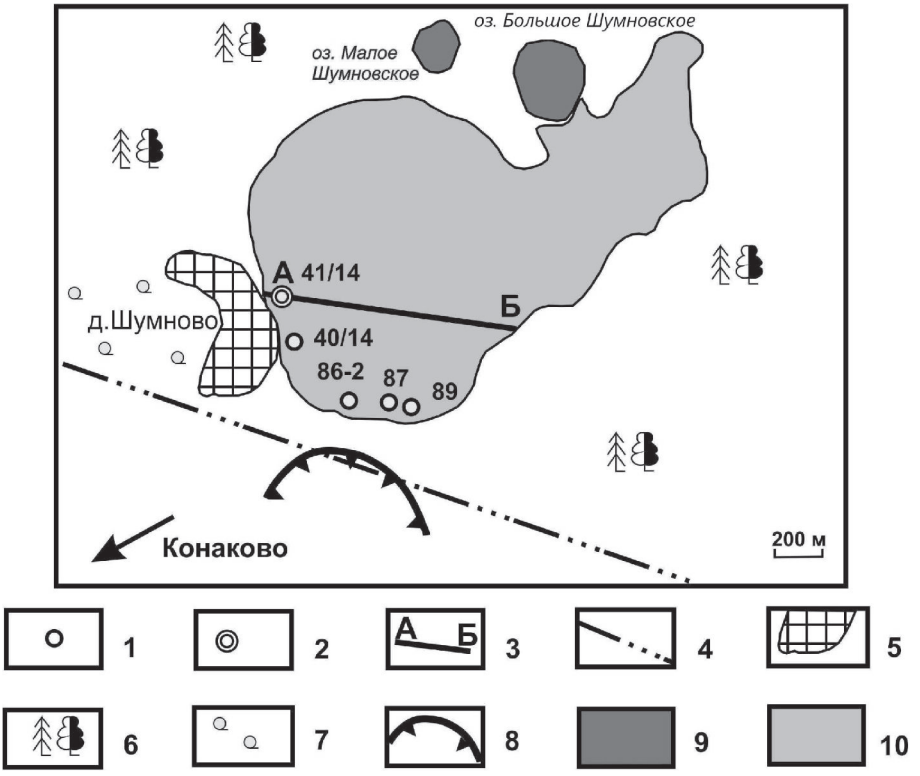

Рис. 12. Карта расположения шурфов и номера проб, отобранных для лабораторного анализа.

1 – скважина ручного бурения; 2 – группа скважин, где проводились наблюдения за составом болотных вод; 3 – профиль, по которому определялась мощность нарастающей сплавины; 4 – линия ЛЭП; 5 – территория д. Шумново; 6 – земли лесного фонда (лес); 7 – земли лесхоз назначения (поле); 8 – свалка; 9 – озера малое Шумновское и большое Шумновское; 10 – верховое болото Шумновское.

мощность торфяной залежи около 1.0 м, подстилающие породы – песчано-глинистые флювиагляциальные отложения московского оледенения. Болото верхового типа, разрабатывалось с конца XIX в. до 1956 г. XX в. ручным и машинно-формовочным способами для снабжения топливом фаянсового завода в г. Конаково. Мощность остаточного слоя торфа около 5 см, местами торф выбран до минерального основания.

На болоте растет угнетенная сосна и береза высотой 1.0-3.0 м, кустарнички клюквы, багульника, сфагновые мхи, пушица, тростник (см. Вклейку, рис. 13). Болотная вода стоит близ поверхности болота. Торф верховой, сложен главным образом мхами, слабо разложившимися, зольность которых составляет около 4.5%, степень разложения до 15%.

Авторы изучали это болото с 2000-х гг. Изучались главным образом сорбционные свойства верховых торфов по отношению к азоту, фосфору и калию [17]. После опустошительных пожаров 2010 г. Шумновское болото стало объектом наших новых интересов – влияние антропогенных нагрузок на различные типы болот. Из-за высокого стояния уровня болотных вод пожары здесь обычно не происходили, даже в очень жаркие засушливые годы, какими были 1972, 2002 и 2010 гг. Но в 2011 г. произошел лесной пожар, охвативший некоторые участки свалки г. Конаково близ южной границы болота, захватив и его небольшую часть. Здесь были отобраны образцы на определение химического состава торфа (табл. 9): образец № 86-2 горелый торф; образец 89 – негорелый торф.

Таблица 9. Химический состав торфа верхового болота Шумновское, 2011 г.

Параметр	Торф с поверхности, не горел, обр. № 89	Торф с поверхности, горел (зола), обр. № 86-2
pH	5.7	7.6
A^d, %	31.6	86.2
Сухой остаток водной вытяжки, %	0.29	1.74
ПО, мг С/100 г	78	48
$Fe_{общ}$, мг/100 г	141	342
$N\text{-}NH_4^+$, мг N/100 г	1.9	69.7
$N\text{-}NO_3^-$, мг N/100 г	2.9	2
Фосфор по Кирсанову, мг P_2O_5/100 г	4.96	71
Фосфор PO_4^{3-}, мг P/100 г	2.47	нет данных
Фосфор общий, мг P/100 г	3.62	нет данных
Кальций обменный, мг/100 г	44.3	нет данных
Магний обменный, мг/100 г	9.6	нет данных
Сульфат-ионы, мг/100 г	7.5	505
Хлорид-ионы, мг/100 г	0.004	0.003

Нами было определено также содержание металлов в золе (образец 86-2) и негорелом торфе (образец 87). Результаты получены методом МС-ИСП (табл. 10). Приводим некоторые исходные данные и характеристики образцов:

Таблица 10. Результаты анализа образцов из Шумновского болота МС-ИСП (в мг/кг; где в % – отмечено в табл.)

№ по п/п	Элемент	№ 87 (негорелый торф)	№ 86-2 (зола)
1	2	3	4
1	Литий Li	0.5039	0.2257
2	Бериллий Be	0.4657	0.0447
3	Бор B	7.5719	6.4312
4	Натрий Na, %	0.024	0.008
5	Магний Mg, %	0.028	0.012
6	Алюминий Al, %	0.701	0.154
7	Кремний Si, %	0.379	0.098
8	Фосфор P, %	0.064	0.035
9	Калий K, %	0.017	0.006
10	Кальций Ca, %	1.469	0.41
11	Скандий Sc	1.9851	0.3774
12	Титан Ti	104.66	18.251
13	Ванадий V	22.623	15.543
14	Хром Cr	2.841	2.5114
15	Марганец Mn	4.002	14.2379
16	Железо Fe, %	0.11	0.03
17	Кобальт Co	0.1072	0.0715
18	Никель Ni	н.о.	н.о.
19	Медь Cu	3.292	0.6678
20	Цинк Zn	0.461	0.3853
21	Галлий Ga	1.378	0.372
22	Германий Ge	0.0662	0.03
23	Мышьяк As	2.4863	1.7956
24	Рубидий Rb	0.9475	0.4218
25	Стронций Sr	36.7477	10.5719
26	Цирконий Zr	3.1637	3.7854
27	Ниобий Nb	0.0995	0.0756
28	Молибден Mo	1.2486	0.2797
29	Рутений Ru	н.о.	н.о.
30	Родий Rh	0.0006	0.0007
31	Палладий Pd	0.0161	0.0119
32	Серебро Ag	0.0065	0.0049
33	Кадмий Cd	0.0636	0.0225
34	Индий In	0.0055	0.0028
35	Олово Sn	0.0419	0.031
36	Сурьма Sb	0.0144	0.0139
37	Цезий Cs	0.1016	0.0417
38	Барий Ba	59.8428	14.5419
39	Иттрий Y	6.4273	2.0566
40рзм	Лантан La	10.244	2.96
41рзм	Церий Ce	23.158	6.813
42рзм	Празеодим Pr	2.341	0.74

Окончание табл. 10

1	2	3	4
43рзм	Неодим Nb	9.177	2.985
44рзм	Самарий Sm	1.807	0.812
45 рзм	Европий Eu	0.401	0.132
46 рзм	Гадолиний Gd	1.847	0.632
47 рзм	Тербий Tb	0.237	0.078
48 рзм	Диспрозий Dy	1.195	0.417
49 рзм	Гольмий Ho	0.225	0.078
50 рзм	Эрбий Er	0.576	0.189
51 рзм	Тулий Tm	0.08	0.026
52 рзм	Иттербий Yb	0.448	0.148
53рзм	Лютеций Lu	0.059	0.02
54	Гафний Hf	0.0623	0.029
55	Тантал Ta	0.0077	0.0016
56	Вольфрам W	0.1266	0.1902
57	Рений Re	н.о.	н.о.
58	Осмий Os	0.0013	н.о.
59	Иридий Ir	н.о.	н.о.
60	Платина Pt	0.0005	0.0028
61	Золото Au	н.о.	0.0002
62	Ртуть Hg	н.о.	н.о.
63	Талий Tl	0.0011	0.0031
64	Свинец Pb	2.428	0.7151
65	Висмут Bi	0.0599	0.021
66	Торий Th	2.34	0.56
67	Уран U	4.97	0.61

№ 86-2 – торфяная зола, w = 10%, A^d = 86%; № 87 – негорелый торф, w = 56%, A^d = 18%; № 89 – негорелый торф, w = 40%, A^d = 32%.

Анализируя результаты табл. 10, можно отметить высокие содержания, главным образом, в золе, следующих металлов: титана, ванадия, хрома, мышьяка, церия, иттрия, бария, лантана. По-видимому, такие высокие содержания металлов (и среди них опасные для окружающей среды и человека как мышьяк и хром) можно объяснить близостью общегородской свалки г. Конаково, существующей с 1976 г.

Летом 2014 г. на Шумновском болоте, близ д. Шумново, были отобраны образцы негорелого торфа выше и ниже уровня болотных вод на определение метанотрофных бактерий (скважина № 40/14, см. рис. 12). Был заложен опыт по методике, описанной в работе Панкратова Т.А. и др. [18]. Результаты опыта представлены на рис. 14.

Условия эксперимента: к 10 г естественного торфа добавляли по 2000 ppm метана. За двое суток контакта с торфом метан потреблен бактериями полностью. Ход поглощения метана представлен ниже:

В лабораторных условиях Института микробиологии им. С.Н. Виноградского (ИНМИ) РАН были проведены еще опыты по определению «дыхания

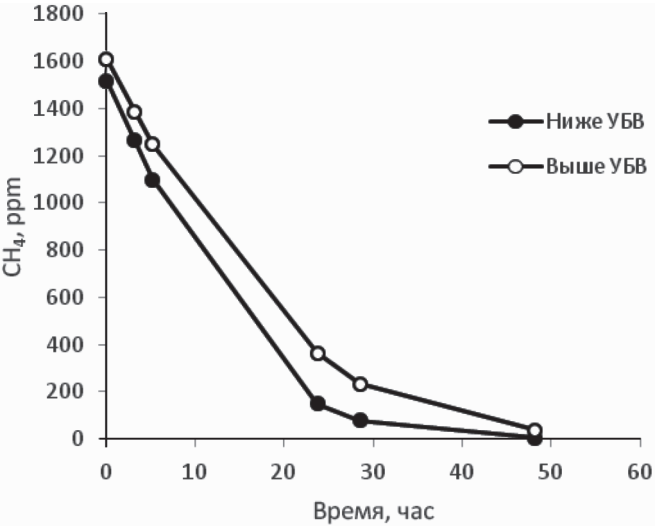

Рис. 14. Динамика поглощения метана метанотрофными бактериями выше и ниже УБВ.

торфа», т.е. выделения углекислого газа в результате разложения различных органических веществ – пектина, целлюлозы, крахмала, ксилана и целлобиоза. Согласно опыту Шумновское верховое ненарушенное пожаром болото поставляет в атмосферу до 500 мкг CO_2/мл за счет разложения микроорганизмами целлюлозы и целлобиозы, 400 мкг CO_2/мл за счет разложения ксилана, 250 мкг CO_2/мл за счет крахмала и 150 мкг CO_2/мл – за счет пектина.

На Шумновском болоте за 60 лет, прошедших со времени прекращения добычи торфа, карьеры заросли сплавиной толщиной 0.6–1.0 м, перемычки обрушились, сплавина от верхнего края бывшего карьера достигает минерального грунта в центральной и западной частях болота. В восточной части между сплавиной и минеральным основанием находится слой воды мощностью 20-25 см, в северной прослеживаются «окна» со свободной водной поверхностью, опасные для посетителей болота. Для изучения роста сплавины, изменения ее мощности, состава, химического состава болотной воды в 2014 г. и в начале 2015 г. были проведены регулярные ежемесячные исследования с бурением скважин ручного бурения глубиной около 1.0 м; отбором проб воды на химический анализ, замерами температуры воды, и определением глубины промерзания торфа. Работы проводились по профилю АБ и в наблюдательной скважине № 41/14 (рис. 12). Замеры параметров болота нами выполнялись с конца 90-х гг. прошлого века до 2015 г., всего было пробурено около 30 скважин. Ниже приводим таблицу химического состава болотной воды (табл. 11), отражающую его сезонную изменчивость [19].

Болотные воды имеют непостоянный состав: либо сульфатно-натриево-кальциевый, либо гидрокарбонатно-сульфатный кальциево-магниевый. Гидрохимический состав формирующихся болотных вод на данном этапе заболачивания сходен с водами естественного верхового болота ландшафта Верх-

Таблица 11. Динамика химического состава болотных вод в период 2014–2015 гг.

Показатель	Месяц отбора воды											
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	III
pH	5.4	5.4	5.3	5.1	5.3	5.2	4.9	5.7	5.5	5.3	5	5
У.э.в., мСм/м	3.3	3.7	3.9	4.1	4.2	4.6	3.7	5.1	5.4	5.7	4.5	5.4
у, шкала цветности	180	190	205	220	200	230	150	280	240	200	105	90
мг/дм^3												
Ca^{2+}	12.2	4	7.2	10.4	2.4	3.7	5	6	8.1	10.2	5.6	5.2
Mg^{2+}	2.1	4.9	5.4	5.9	3.1	2.4	2.6	2.1	4.2	6.3	2.9	4.1
SO_4^{2-}	6.1	11.2	8	6	5.3	4	1.3	1.2	3.1	5.2	2.5	2.4
NH_4^-	1.5	0.18	0.64	1.1	1.8	1.5	0.56	0.84	0.56	0.29	0.6	0.3
NO_3^-	1.57	12	7.1	2.1	1.44	2	2.71	0.64	0.78	0.92	0.8	1
Mn^{2+}	0.08	0.55	0.3	0.06	0.09	0.04	0.05	0.04	0.05	0.06	0.01	0.08
$Fe_{общ.}$	0.38	0.75	0.74	0.73	0.81	0.82	0.35	0.48	0.58	0.68	0.45	0.53
Mz	63	53	46	38	35	29	19	30	39	48	32	31

неволжской низменности по солевому составу, содержанию органического вещества, величине водородного показателя pH [20].

Таким образом, на примере Шумновского верхового болота можно проследить, как происходит его естественное восстановление за период 60 лет. Полного восстановления болота еще не произошло, остались участки, где нарастающая сплавина не достигла минерального дна. Можно предположить, что через десяток лет восстановление верхового Шумновского болота завершится.

1.4. Низинное болото «Вешка» (Тверская область)

Болото Вешка расположено в 12 км южнее г. Конаково Тверской области, близ д. Тарлаково (рис. 15). Это низинное болото площадью 7.79 га, с мощнос-

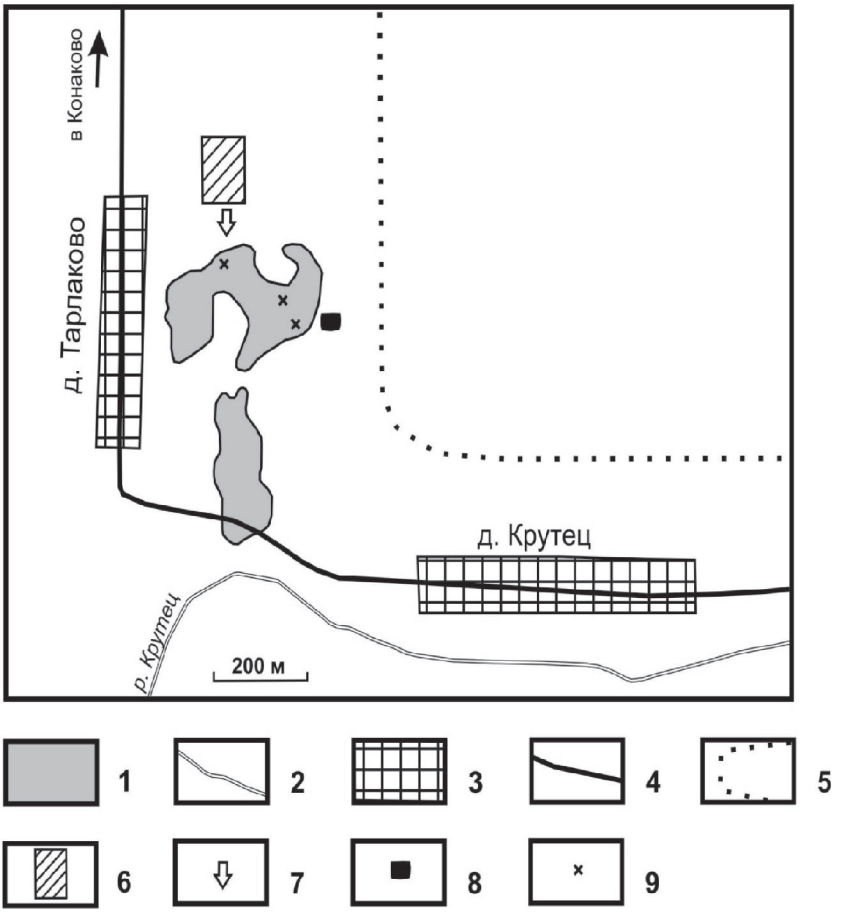

Рис. 15. Карта-схема низинного болота «Вешка» у д. Тарлаково.
1 – болото Вешка; 2 – р. Крутец; 3 – территория населенных пунктов; 4 – асфальтированная дорога Конаково–Дулово–Высоково; 5 – земли сельхоз назначения; 6 – животноводческая ферма с прудом-отстойником; 7 – сток в болото; 8 – силосная яма; 9 – точки отбора проб.

Таблица 12. Химический состав болотных вод, стоков дрены и пруда-отстойника на животноводческой ферме. Болото Вешка 2001 и 2002 гг.

Показатель	2001 г.		2002 г.
	Центр болота	Ручей-дрена, исток	Пруд-отстойник
pH	6.73	7.32	6.65
Eh	–0.32	-	–190
У.э.в., мСм/м	49.4	79.1	485
ПО, мг О/100 г	27.6	11.2	80
у, град. цветности	160	55	>500
Ca^{2+}+ Mg^{2+}, мг-экв/л	3.5	4.4	4.5
$P_{общ.}$, мг Р/дм^3	0.18	0.06	44.5
мг/дм^3			
Ca^{2+}	1.4	2.2	3.5
$Fe_{общ.}$	0.75	0.1	-
PO_4^{3-}	0.05	0.05	50.4
NH_4^+	0.83	0.22	272
NO_2^-	0.02	0.01	следы
NO_3^-	0.81	1.37	1.04
SO_4^{2-}	56.2	63	19
HCO_3^-	3.5	5.3	29
Cl^-	22.5	64.5	27
Na	9.1	28.5	13
K	0.1	40.7	91

тью торфа около 1 м. Болото в течение 70 лет используется в качестве приемника животноводческих стоков с двух ферм, расположенных в 200 м севернее болота и в д. Тарлаково. Кроме того, в юго-восточной части болота расположена силосная яма, где хранятся с августа по март растительные остатки для животных, также являющиеся источником загрязнения болота. Болото испытывает еще и антропогенную нагрузку со стороны автомобильной дороги, окаймляющей его с западной и южной сторон.

Болото Вешка изучалось нами в 2001-2006 гг. с точки зрения возможности его использовать как коллектор животноводческих стоков. Здесь были сделаны десятки определений химического состава торфа, болотной воды, воды из дренажной канавы. Нами изучались сорбционные свойства торфов по отношению к биогенам – нитратам, аммонию, калию и фосфору. Результаты работ опубликованы в статьях [21-26] и в монографии [17]. Некоторые результаты представлены в табл. 12.

Пробы отбирали и в 2010 г. из разрезов, приуроченных к наиболее характерным, для данного исследования местам, из четырех точек: у силосной ямы, в центре болота, у истоков дренажной канавы и у края по стоку с фермы (табл. 13). Элементы определяли в золе, антибиотики – в природном торфе. Отбор и подготовку проб проводили согласно известным общепринятым методикам. Известно, что болото никогда не осушалось, и добычи торфа здесь не происходило. Случаев возгорания не наблюдалось. Болото живописно, с богатой растительностью (см. Вклейку, рис. 16).

Таблица 13. Исходная характеристика проб

Номер образца	Гигроскопическая влажность, %	Зольность, %	Примечание
Разрез 1 (у силосной ямы)			
42	9	31.9	0.1 м (глубина взятия образца)
43	6	60.8	0.2 м; особенно много растительных включений
44	2.4	96.7	0.3 м; как глина, рыжего цвета
Разрез 2 (в центре болота)			
45	11.4	20.4	0.1 м
46	12.4	не определяли	0.3 м
47	12.4	12.7	0.5 м
48	47.6	21.1	0.7 м;
49	8.8	70.8	0.8 м
50	2.6	91.4	0.9 м; тяжелый суглинок
Разрез 3(дренажная канава)			
51	3.4	83.1	поверхность
52	2.6	86.9	0.3 м; серый торф
Разрез 4 (на животноводческой ферме)			
53	4	78.8	0.1 м
54	2.8	не определяли	
55	3	91	0.3 м
Отдельные пробы			
56	6.4	37.4	поверхность; поступающий в болото сток

В 2010 г. в первую очередь в анализированных пробах нас интересовало содержание антибиотиков. Известно, что в животноводстве активно используется широкая группа препаратов тетрациклиновых антибиотиков и их производных в качестве высокоэффективных лечебно-профилактических и ростостимулирующих средств. Антибиотики дают животным вместе с кормом, они воздействуют на состав микрофлоры желудочно-кишечного тракта, передвижение пищевых масс и процессы всасывания. Несмотря на то, что тетрациклины и их производные являются водорастворимыми, они образуют труднорастворимые комплексы с ионами кальция, железа и тяжелыми металлами. В совокупности со специфическими удерживающими свойствами торфов и почв, в вопросе накопления антибиотиков существует некая неопределенность. Одной из задач в данном исследовании является проверка предположения, что данная группа веществ накапливается в торфе, в болоте.

К сожалению, современные методы еще не нашли широкого применения в рутинной лабораторной практике. Для химического анализа торф – один из сложных объектов окружающей среды. Имеет несколько составляющих: твердую (минеральную, разложившееся органическое вещество и остатки растительности), воздушную (газовую), микробиологическую и водную фазы. Торф различается по степени разложения; характеризуется среднекислой восстановительной средой, гигроскопичностью и неоднородностью. До сих пор микро-

биологические исследования были сложной процедурой, продолжительность анализа достигала нескольких часов. В лучшем случае удавалось только установить наличие или отсутствие отдельных групп антибиотиков. В настоящее время одним из современных развивающихся методов определения и идентификации органических соединений является масс-спектрометрия с матрично/наноповерхностью-активированной лазерной диссоциацией/ионизацией (МС–МАЛДИ/НАЛДИ) в сочетании с времяпролетным масс-анализатором [27]. Сущность метода заключается в облучении лазерными импульсами образца, представляющего собой твердый раствор исследуемого вещества в органической/ неорганической матрице. Матрица поглощает энергию УФ- или ИК-лазера и способствует десорбции аналита без разложения. Ионизация образца происходит в приповерхностном факеле путем ион-молекулярных реакций или процессов перезарядки. Образующиеся ионы выталкиваются коротким электрическим импульсом в бесполевое пространство. При этом ионы с различным отношением массы к заряду (m/z) приобретают различную скорость и достигают детектора в различное время, что обеспечивает регистрацию их масс-спектра.

Помимо этого, для наблюдения тенденций к накоплению прочих загрязнителей, проводился элементный анализ.

Для идентификации и определения антибиотиков использовали масс-спектрометр с матрично-активированной лазерной десорбцией/ионизацией (МС-МАЛДИ) с времяпролетным масс-анализатором Autoflex III smartbeam (Bruker Daltonic, Германия) с рефлектроном для положительных и отрицательных ионов [27]. Основные параметры анализа: УФ-азотный лазер (λ = 337 нм), длина импульса 3 нс, мощность лазерного излучения 10^6-10^7 Вт/см^2. Применяли автоматическое подавление сигналов массой до 300 Да.

Расшифровку спектров проводили с использованием программы FlexAnalysis ver. 3.3 (Bruker Daltonic, Германия).

Использовали стандарты антибиотиков CRSO (Corporate Reference Standards Organization) «EliLillyandCompany» (США), «Sigma-Aldrich» (Швейцария) и «Dr. Ehrenstorfer» (Германия). В качестве матрицы использовали α-циано-4-гидроксикоричную кислоту (Bruker Daltonic, lot. 10.255344.284001). Раствор матрицы 20 мг/мл готовили растворением соответствующей навески в смеси ацетона и водного раствора трифторуксусной кислоты. Растворы антибиотиков 1 мг/мл готовили растворением соответствующих навесок в ацетонитриле («Prolabo», Австрия). Рабочие растворы готовили в день использования, разбавлением исходных ацетонитрилом. Обнаружено несколько антибиотиков: метациклин (особенно токсичный и имеющий большое число побочных эффектов), хлортетрациклин, доксициклин, дигидрострептомицин и ласалоцид. С учетом интенсивности и площадей пиков найденных тетрациклинов, определен диапазон их содержания в торфе – 0.02-0.20 мкг/кг. Хочется отметить, что при этом, в пробах воды из реки Крутец антибиотиков не обнаружено, что может служить следствием того, что болото является мощным биогеохимическим барьером. Результаты представлены в табл. 14.

Анализы торфяной золы на металлы выполнены высокопроизводительным методом МС-ИСП в 2011 г., они представлены в табл. 15. Методика экспери-

Таблица 14. Идентификация антибиотиков в торфе методом МС-НАЛДИ

№ пробы торфа	Характеристические массы (m/z), Да	Отношение сигнал/шум (S/N)	Идентифицированный антибиотик
45	426,485	46	Метациклин
	427,482	11	
	428,559	7	
47	426,510	5	Метациклин
	427,528	4	
	428,581	6	Доксициклин
	584,778	6	Дигидрострептомицин
	589,791	7	Ласалоцид
48	426,522	4	Метациклин
49	426,522	4	Метациклин
	428,599	5	Доксициклин
	462,661	4	Хлортетрациклин
50	426,544	5	Метациклин
	428,535	4	Доксициклин
	584,835	5	Дигидрострептомицин
	589,784	6	Ласалоцид
	462,609	6	Хлортетрациклин
51	426,534	134	Метациклин
	427,544	32	
	428,626	12	
	584,799	4	Дигидрострептомицин
	462,609	5	Хлортетрациклин
	588,812 589,802	13 7	Ласалоцид
55	426,511	11	Метациклин
	427,527	5	
	428,570	4	
	588,812 589,802	13 6	Ласалоцид
43			Не обнаружено

мента приведена в [28]. Определено более 28 элементов: Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Rb, Sr, Y, REEs, Zr, Nb, Mo, Cd, In, Sn, Cs, Ba, Hf, Pb, Bi, Th и U.

Для проведения элементного анализа, пробы торфа высушивали до воздушно-сухого состояния, растирали и просеивали через сито геологическое лабораторное с размером ячеек 2 мм. Отбирали необходимые навески. Пробы высушивали в сушильном шкафу при 350 °С и затем озоляли в муфеле при 800 °С в течение трех часов. Далее переведенную в раствор золу анализировали многоэлементным и высокопроизводительным методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (МС-ИСП). Измерения проводили на масс-спек-

Таблица 15. Элементный состав торфяной золы болота Вешка по данным ИСП-МС

Элемент	Номера образцов торфа											
	56	42	43	44	47	48	49	50	51	52	53	55
	Содержание элементов, % или мг/кг											
Na %	0.062	0.036	0.019	0.004	0.11	0.063	0.009	0.005	0.041	0.002	0.004	0.003
Mg %	2.338	0.083	0.021	0.003	1.61	0.73	0.018	0.016	0.017	0.005	0.012	0.004
Al %	0.204	0.383	0.284	0.049	1.4	1	0.12	0.077	0.189	0,031	0.079	0.052
Si %	0.025	0.325	0.149	0.045	2.3	1.34	0.07	0.058	0.12	0.023	0.058	0.038
P %	5.088	0.361	0.129	0.028	0.51	0.33	0.03	0.032	0.054	0.031	0.032	0.014
K %	0.073	0.029	0.013	0.008	0.09	0.05	0.016	0.006	0.009	0.003	0.006	0.004
Ca %	2.974	4.057	0.856	0.109	20.4	10.61	0.28	0.25	0.33	0.117	0.235	0.087
Fe %	0.27	0.15	0.05	0.15	3.64	1.60	0.04	0.02	0.03	0.01	0.02	0.01
Ti	52.084	40.896	19.76	2.69	454.53	223.67	15.13	6.198	6.86	7.51	3.89	1.83
V	8.2942	31.13	20.79	8.95	57.495	44.67	15.13	10.3	8.99	1.67	4.94	6.03
Cr	38.2518	0.29	2.399	0.25	16.45	12.45	0.97	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
Mn	1069.08	96.8	8.74	2.98	187.28	126.2	8.84	5.07	51.56	8.88	12.34	4.97
Co	2.734	0.595	0.14	0.033	4.91	2.35	0.21	0.1	0.46	0.086	0.26	0.1
Cu	64.68	3.83	1.14	0.196	55.96	23.56	1.6	0.37	0.08	0.28	0.296	0.15
Ni	4.93	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0.29	н.о.	1.06	н.о.	0.16	н.о.
As	1.276	10.47	5.7	1.37	19.195	15.196	1.52	1.59	4.16	3.94	10.47	5.81
Sr	134.36	48.9	16.496	10.69	230.21	2.11	0.94	10.01	11.58	3.95	4.82	5.81
Zr	4.26	2.94	1.35	0.31	19.69	14.11	2.88	1.27	0.46	0.25	0.53	0.45
Nb	0.318	0.09	0.028	0.008	1.24	0.79	0.019	0.013	0.009	0.005	0.006	0.005
Mo	4.59	3.18	0.67	0.056	3.07	2.56	0.15	0.147	0.297	0.28	0.17	0.14
Cd	0.478	0.61	0.052	0.001	183.98	0.03	0.008	0.018	0.027	0.01	0.03	0.0013
Ba	84.32	125.76	54.88	100.1	253.37	176.77	36.50	19.87	20.696	8.56	2.74	3.4

трометре «ELAN DRC II» («Perkin Elmer», США). Полученные данные обрабатывали с помощью программы «Elan ICP-MS Instrument Control», версия 3.4.

Определено, что содержание некоторых металлов повышено: ванадия, хрома, марганца, меди, мышьяка, свинца, стронция, бора, лития, бария и кобальта. Причем, ванадия (57.5 мг/кг), мышьяка (19.2 мг/кг), бария (253.4 мг/кг) и бора (40.2 мг/кг) – со стороны силосной ямы. Хрома (38.3 мг/кг), марганца (1069 мг/кг), меди (64.7 мг/кг), никеля (4.93 мг/кг), стронция (134.4 мг/кг), лития (3.2 мг/кг) и свинца (3.93 мг/кг) – со стороны стока ближней фермы. На поверхности концентрация этих металлов выше, чем в нижних слоях. Бор и мышьяк широко применяются в сельском хозяйстве, медицине и ветеринарии [29-31].

Исходя из полученных данных, можно сказать, что близлежащие фермы являются достаточно серьезным источником загрязнения. Повышение содержания металлов, а также биогенных элементов (NPK) вблизи стоков, показывает, что с органическим веществом в болотную экосистему идет приток не только антибиотиков, но и элементных загрязнителей (а в случае биогенных элементов и р. Крутец – источников дополнительной этерификации).

Необходимо отметить следующее: несмотря на то, что торф удерживает антибиотики, их попадание в болотный экоценоз может привести к его нарушению. В дальнейшем это может отозваться серьезными экологическими последствиями, вызванными сменой микробного состава.

1.5. Заказник «Журавлиная Родина» и Дубненские болота (Московская область)

Заказник «Журавлиная Родина» находится на северо-востоке Московской области, в Талдомском и Сергиево-Посадском районах [32] (рис. 17). На территории урочища и западной части Дубненского болотного заказника встречается ~250 видов птиц, 63 вида из них занесены в Красную книгу МО, 18 – в Красную книгу России. Заказник – это место миграционных остановок водоплавающих и хищных птиц, куликов и журавлей. Общая площадь заказника ~11000 га, его болотной части 1170 га. Заказник основан в 1979 г. Действует целый комплекс охранных мероприятий по сохранению редких животных и растений, их местообитаний, реликтовых ландшафтов, озер и болот ледникового происхождения, истоков рек, реликтовых еловых лесов. Осенью перед перелетом здесь собираются стаи журавлей, крупнейшие в центральной части Европейской России. Охрана заказника и создание благоприятных условий обитания является важнейшей задачей Талдомской администрации, ученых, орнитологов, экологов и любителей природы.

Сотрудники ИВП РАН на протяжении 20 лет ведут наблюдения в Заказнике за численностью и поведением журавлей, а также за формированием торфяных массивов, за качеством болотных вод; с 2010 г. изучается гидрологический режим болот с выработкой рекомендаций по противопожарной безопасности.

Торфяные пожары в заказнике и на примыкающей к нему территории периодически происходят, однако они не носят катастрофического характера, как это случается на других торфяниках МО. Последние пожары здесь произошли в 2002

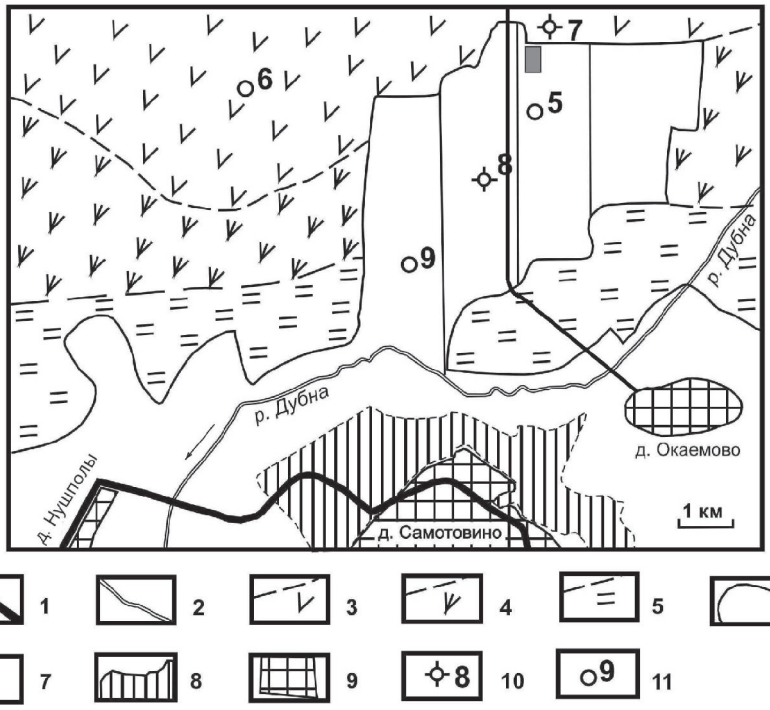

Рис. 17. Карта заказника «Журавлиная Родина» и Дубненские болота (Московская область).

1 – автомобильная трасса; 2 – р. Дубна; 3 – верховое болото; 4 – переходное болото; 5 – низинное болото, 6 – осушенные болота, превращенные в поля, пашни и выпасы; 7 – противопожарный пруд; 8 – лес; 9 – территории населенных пунктов, 10 – режимная скважина; 11 – скважина и ее номер.

и 2003 гг. В жаркие засушливые годы 2010 и 2011, когда Москва задыхалась от смога, в Заказнике произошло несколько незначительных пожаров [33].

Болотный массив Заказника образован сочетанием верхового (см. Вклейку, рис. 18), переходного и низинного болота (рис. 19, там же). Верховое болото с поверхности сложено моховой подушкой, образованной живым светло-зеленым сфагнумом, высотой 10-15 см. Под ним залегает отмерший сфагнум, главным образом, шейхцериевый, светло-бурый, практически неразложившийся, мощностью 25-30 см. С глубины 0.4 м залегает темноокрашенный, почти черный, торф, плохо разложившийся, мощностью 1-2 см. Глубже – торф сосново-сфагнумовый, бурый, с плохо разложившимися остатками растений. Ниже по разрезу степень разложения торфа заметно возрастает. Коэффициент фильтрации торфа меняется от 10 м/сут в верхней части разреза до 0.01 м/сут – в нижней. На глубине 3-4 м торф подстилается суглинком. В зависимости от водности года уровень болотных вод колеблется в широких пределах, например в период летней межени 2011 г. он составлял 1.5-1.7 м, а в 2015 г. – 0.1-0.2 м (скважины №№ 6 и 7 на рис. 17).

На верховом болоте торфообразующим материалом является не только мох, но и опад березовый и сосновый. Ниже приводим табл. 16 химического состава верхового торфа, отобранного под березами и под соснами.

Таблица 16. Результаты анализа водной вытяжки из торфа химическими методами (пробы от 10.05.2015): разведение проб 1 : 50, (представлены средние результаты по двум параллельным измерениям для каждой глубины – *h*)

Параметр	Номер образца и глубина отбора						
	Торф под березами				Торф под соснами		
	1/15	3/15	2/15	4/15	5/15	6/15	7/15
	h = 1–10 см		*h* = 15–25 см		*h* = 1–10 см		*h* = 15–25 см
$pH_{вод.}$	3.8	3.8	3.9	3.8	3.5	3.8	4.5
pH_{KCl}	2.8	2.8	3.2	3.1	2.7	2.6	2.7
A^d, %	6.09	6.58	6.44	7.87	8.36	9.69	6.19
У.э.в., мСм/м	5.8	3.7	6.8	5.5	10.3	7.4	5.2
ПО, мг С/100 г	208	109	214	155	296	159	135
y, град. цветности	179	164	184	175	254	173	242
Сухой остаток, г/дм^3	0.9	0.59	1.15	0.9	1.73	1.06	0.72
V, %	53.5	53.6	60.4	52.1	35.7	29.7	22.9
H, мг-экв/100 г сухого торфа	153	169	138	139	150	125	134
S, мг-экв/100 г сухого торфа	176	195	210	152	83	53	40
Fe(III), мг/100 г сухого торфа	0.37	0.67	0.53	0.5	0.2	0.37	0.33
Fe(II), мг/100 г сухого торфа	4.41	2.62	5.16	4.35	4.89	5.9	2.89
$Fe_{общ.}$, мг/100 г сухого торфа	4.78	3.29	5.69	4.85	5.09	6.27	3.22
NH_4^+, мг N/100 г сухого торфа	2.9	2.3	3	2.5	2.7	1.4	0.57
NO_3^-, мгN/100 г	3.5	3.2	5.6	4.5	7.5	9.2	7.8
$P_{кирс.}$, мгP/100 г	10.59	15.85	10.02	8.77	16	17.95	4.88
SO_4^{2-}, мг/100 г	26.2	39.8	23.8	24.1	23.2	27.8	41.3
HCO_3^-, %	0.041	0.05	0.029	0.019	0.013	0.013	0.014
Cl^-, %	0.011	0.01	0.011	0.003	0.007	0.003	0.004
Ca^{2+}, мг/100 г	0.45	1.75	0.60	1.3	1.55	0.54	0.74
Mg^{2+}, мг/100 г	1.45	1.05	0.65	1.05	1.35	1.34	0.23
Ca^{2+} обменный, мг/100 г сухого торфа	28.9	33.3	26.3	34.5	40.2	16.5	19.6
Mg^{2+} обменный, мг/100 г сухого торфа	7.7	9.2	9.3	6.4	14	16.4	10.5

Сравнение полученных данных свидетельствует о малых различиях в химическом составе, однако можно отметить, что в торфе под соснами содержится больше железа, нитратного азота, в них выше цветность и зольность. В торфе под березами выше содержание аммонийного азота и кальция.

Авторами проводилось определение металлов в торфе (табл. 17, скв. № 6, см. рис. 17).

Анализируя результаты таблицы, можно отметить повышенные содержания в торфе Sr (100-516.9 мг/кг), Cu (9-39 мг/кг), Zn (до 218 мг/кг), As (до 30 мг/кг), La (до 12-14 мг/кг), Pb (до 116.7 мг/кг).

Низинное болото представлено, главным образом, древесно-осоковым или тростниково-осоковым торфом, коричневым, пластичным, хорошо разложив-

Таблица 17. Физико-химические характеристики и содержание металлов в верховом торфе болота «Журавлиная Родина» (анализ 2012 г.)

Параметр/ элементы	Разрез 1			Разрез 2				
	Глубина отбора, м							
	0.4	**1.0**	**2.2**	**0.3**	**0.45**	**1.05**	**1.2**	**1.5**
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Масса золы, г	0.11	0.05	0.22	0.04	0.08	0.03	4.87	0.02
Масса воздушно сухого торфа, г	3.71	1.84	3.86	1.02	2.05	1.20	5.04	0.56
A^d, %	3.22	2.94	6.27	4.3	4.2	2.7	97.6	3.9
w, %	7.82	7.1	2.93	9.8	7.8	8.33	0.99	8.93
%								
Натрий Na	0.05	0.139	0.059	0.069	0.055	0.106	0.003	0.109
Магний Mg	0.097	0.119	0.399	0.09	0.107	0.249	0.018	0.174
Алюминий Al	0.985	1.736	1.137	0.586	1.012	2.26	0.072	0.692
Кремний Si	0.516	1.741	1.423	0.223	0.68	1.571	0.016	0.317
Фосфор P	0.626	0.461	0.309	0.502	0.581	0.492	0.004	1.109
Калий K	0.076	0.087	0.057	0.101	0.074	0.139	0.02	0.197
Кальций Ca	3.211	7.242	14.192	1.908	3.542	7.924	0.019	2.812
Скандий Sc	5.294	4.6926	3.9999	1.2497	3.2189	3.881	0.124	н.о.
Железо Fe	0.31	0.82	4.84	0.16	0.46	1.34	0.02	0.23
мг/кг								
Лантан La	12.096	11.825	5.991	9.272	10.91	19.655	1.986	14.457
Литий Li	1.6053	48.281	4.1279	0.9395	2.29	2.6486	1.0787	1.5835
Бериллий Be	0.4473	0.3393	0.4893	0.0749	0.339	0.7951	0.0358	0.1297
Бор B	13.35	24.743	42.682	12.279	14.854	28.91	0.979	44.314
Ванадий V	41.34	43,517	29.22	12.28	33.391	54.046	3.704	78.166
Хром Cr	1.514	14.894	19.819	н.о.	8.029	26.115	н.о.	н.о.
Марганец Mn	82.398	43.26	367.15	59.86	71.582	335.37	2.973	121.91
Кобальт Co	0.63	1.697	4.421	0.832	2.672	12.92	0.147	1.2745
Никель Ni	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	3.257	0.0405	н.о.
Медь Cu	8.912	23.64	31.96	6.542	13.413	39.368	0.37	19.798
Цинк Zn	8.05	7.587	119.76	35.43	26.164	208.12	1.17	43.34
Стронций Sr	129.88	235.81	516.99	87.86	150.4	218.4	2.335	128.41
Иттрий Y	5.073	5.545	4.644	4.72	5.37	8.965	0.361	7.749
Цирконий Zr	7.74	16.256	16.118	3.587	7.324	14.971	0.274	6.754
Церий Ce	22.433	16.513	11.172	17.096	19.923	32.376	3.952	22.896
Празеодим Pr	2.554	2.507	1.469	2.052	2.581	3.848	0.375	3.071
Неодим Nb	9.267	9.129	5.734	7.88	9.174	14.217	1.29	11.845
Самарий Sm	1.818	1.672	1.266	1.455	1.717	2.86	0.217	2.284
Европий Eu	0.384	0.362	0.295	0.343	0.408	0.698	0.036	0.503
Гадолиний Gd	1.721	1.674	1.189	1.46	1.635	2.754	0.168	1.903
Тербий Tb	0.205	0.207	0.153	0.177	0.195	0.359	0.02	0.274
Диспрозий Dy	1.078	1.09	0.852	0.916	1.134	1.873	0.086	1.594
Гольмий Ho	0.192	0.203	0.169	0.169	0.208	0.33	0.015	0.283
Эрбий Er	0.536	0.498	0.43	0.335	0.48	0.892	0.037	0.685

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тулий Tm	0.078	0.076	0.07	0.062	0.064	0.135	0.005	0.099
Иттербий Yb	0.393	0.451	0.435	0.299	0.32	0.618	0.024	0.545
Лютеций Lu	0.052	0.064	0.065	0.046	0.058	0.09	0.003	0.074
Галлий Ga	1.9677	3.9137	3.1845	1.2786	2.6311	5.649	0.1638	2.138
Германий Ge	0.2018	0.3096	0.2393	0.2738	0.247	0.521	0.0077	0.434
Мышьяк As	5.2962	19.877	30.089	4.2835	5.233	7.509	0.1215	12.658
Рубидий Rb	4.4529	5.3929	3.6811	6.179	4.477	8.157	1.549	9.7658
Ниобий Nb	0.2067	0.894	0.6609	0.181	0.328	1.018	0.0039	0.558
Рутений Ru	н.о.	н.о.	н.о.	0.0074	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
Родий Rh	0.0067	0.0055	0.006	н.о.	0.0075	0.0106	0.0002	н.о.
Палладий Pd	0.0425	0.1386	0.0958	н.о.	н.о.	0.0885	0.001	0.085
Серебро Ag	0.0399	6.4846	0.0353	0.1321	0.0633	0.1781	0.0016	0.1729
Кадмий Cd	1.0178	0.3888	0.5508	0.9579	1.1064	1.5853	0.0015	1.534
Индий In	0.0218	0.024	0.0144	0.0258	0.0259	0.0424	0.0012	0.0616
Олово Sn	0.4122	0.8426	0.5275	0.4397	0.6616	1.3324	0.0159	1.851
Сурьма Sb	0.2449	0.1838	0.3188	0.2002	0.2315	0.4254	0.0025	0.518
Цезий Cs	0.3892	0.9265	0.7768	0.4734	0.4584	0.5975	0.124	0.6839
Барий Ba	208.263	215.83	376.14	177.76	304.57	384.83	3.6288	255.25
Гафний Hf	0.1706	0.3011	0.2915	0.0885	0.1632	0.3068	0.0068	0.2045
Тантал Ta	0.018	0.0636	0.0476	0.0033	0.0269	0.0714	0.0001	0.015
Вольфрам W	0.4427	0.3205	0.189	0.704	0.2657	0.3991	0.0159	3.5345
Рений Re	0.0015	0.0017	0.0022	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
Осмий Os	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
Иридий Ir	0.0008	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0.0001	н.о.
Платина Pt	0.002	0.0215	0.0066	н.о.	0.0035	н.о.	0.0002	н.о.
Золото Au	н.о.	0.0207	0.021	н.о.	н.о.	0.0038	н.о.	н.о.
Ртуть Hg	н.о.	н.о.	0.0087	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
Талий Tl	0.014	0.0014	0.005	0.01	0.014	0.0027	0.0113	н.о.
Висмут Bi	0.3251	0.1663	0.1036	0.4524	0.2449	0.2532	0.0137	1.0523
Свинец Pb	52.732	24.158	4.4397	64.52	32.951	18.695	0.477	116.66
Торий Th	2.54	2.22	1.88	1.56	2.53	3.66	0.26	3.52
Уран U	1.14	1.10	2.91	0.68	1.12	1.88	0.06	1.49

шимся. Низинный торф на многих площадях нарушен осушительными мелиоративными канавами, используется под сельскохозяйственные поля. Его мощность ~2 м, иногда до 4 м, торф залегает, в основном, на сапропелях или суглинках. УБВ в летнюю межень устанавливается на глубине 1.2-1.5 м. В восточной части Дубнинского болота низинные торфа претерпели наименьшую антропогенную нагрузку, сохранив естественные свойства низинного болота. Ниже приводим таблицу химического состава низинного торфа близь озера Заболотское (табл. 18).

В химическом составе торфа можно отметить высокое содержание железа (11.07 мг/100 г) и высокую зольность (91.7%), свидетельствующую о пожаре, произошедшем, по-видимому, несколько столетий тому назад, при формировании слоев торфа, залегающих в настоящее время на глубине 0.3 м.

Таблица 18. Химический состав низинного торфа болота «Журавлиная Родина», 29 сентября – 2 октября 2014 г.

Показатель		Название и номер пробы, глубина отбора
		Торф № 11/14, *h* – 0.3 м
$pH_{водн.}$		5.8
$pH_{солевой}$		5.4
Железо, мг/100 г	Fe^{2+}	1.21
	Fe^{3+}	9.86
	$Fe_{общ.}$	11.07
NH_4^+ поглощенный, мг N/100 г		0.44
S, мг-экв/100 г		167.3
H, мг-экв/100 г		32.4
V, %		83.8
Фосфор по Кирсанову, мг P_2O_5/100 г		11.2
A^d, %		91.7
Кальций обменный, мг-экв/100 г		71.7
Магний обменный, мг-экв/100 г		9
Водная вытяжка		
Разведение пробы		1:50
У.э.в., мСм/м		7
ПО, мг С/100 г		78.5
Цветность, град. цветности		98
Сухой остаток, %		0.834
NO_3^-, мг N/100 г		2.8
SO_4^{2-}, мг/100 г		51.3
HCO_3^-, %		0.133
Cl^-, %		0.011
Ca^{2+}, растворенный, мг-экв/100 г		3.8
Mg^{2+}, растворенный, мг-экв/100 г		0.6

Характерной особенностью геолого-гидрологического строения торфяной залежи в Заказнике является наличие под низинными (иногда – под переходными) торфами подстилающего слоя сапропелей. Сапропели – озерные пресноводные илы. Они отличаются весьма низкими значениями коэффициента фильтрации (~0.001 м/сут), свойством набухания, неглубоким залеганием. Сапропели создают значительные затруднения в проведении работ по подтоплению торфяных массивов в противопожарных целях. Это практически водоупорные породы – при проведении лабораторных определений их коэффициента фильтрации вода не фильтровалась через образец сапропеля в течение нескольких месяцев, порода даже не намокла. Это свойство сапропелей следует учитывать при подтоплении торфяных болот: фильтрация воды из противопожарных каналов или прудов будет происходить только в слое торфа.

Ниже приводим химический состав сапропеля и суглинка, залегающих около скв. № 5 (рис. 17), где происходили основные мелиоративные работы по подтоплению в 2012-2013 гг. (табл. 19).

Таблица 19. Химический состав подстилающих торф пород болота «Журавлиная Родина»

Показатель	Сапропель	Суглинок
Глубина отбора, м	1.7	1.5
A^d, %	79.3	98.4
$pH_{водн.}$	7.4	7.61
$pH_{солевой}$	7.4	7.47
Цветность водной вытяжки, град. цветности	34	25
ПО, мг С/100 г сухого образца	53	9.1
Сухой остаток, мг	458	205
Ca^{2+}, мг-экв/100 мг	14.4	178.9
Mg^{2+}, мг-экв/100 мг	2.2	27
мг/100 г		
Железо(III)	0.3	36
Железо(II)	1.7	78.5
Железо общ.	2	114.5
$N\text{-}NH_4^+$	–	1.33
$N\text{-}NO_3^-$	1.97	0.12
$P_{кирс.}$	0.1	15.1
SO_4^{2-}	39.4	22.9
HCO_3^-	66	173
Cl^-	0.007	0.007

Таким образом, в сапропеле содержится больше органического вещества, чем в суглинке. А в суглинке содержится в десятки раз больше Ca, Mg и $Fe_{общ.}$, чем в сапропеле.

Большое внимание было уделено изучению влажности торфов [34]. Интересно отметить, что влажность выше УБВ при его глубоком залегании (> 1 м) остается почти без изменения, несмотря на жаркое и засушливое лето. Исключение составляют осушенные торфяные поля, претерпевшие большие изменения – внесение минеральных удобрений, распашку, окучивание, прополку, сбор урожая и другие сельскохозяйственные работы [35]. В них происходит нарушение естественного сложения, ведущее к более резкому изменению влажности торфа по разрезу (рис. 17, скв. № 9). Например, при жарком засушливом лете 2011 г. влажность верхнего слоя торфа на морковном поле (скв. № 9) снизилась до 28.3% (рис. 20), а на поле сеяных трав (скв. № 5) уменьшилась до 44% (данные от 20 августа 2011 г.). На естественном верховом болоте влажность верхних слоев торфа в это же время снизилась лишь на несколько процентов (скв. № 7).

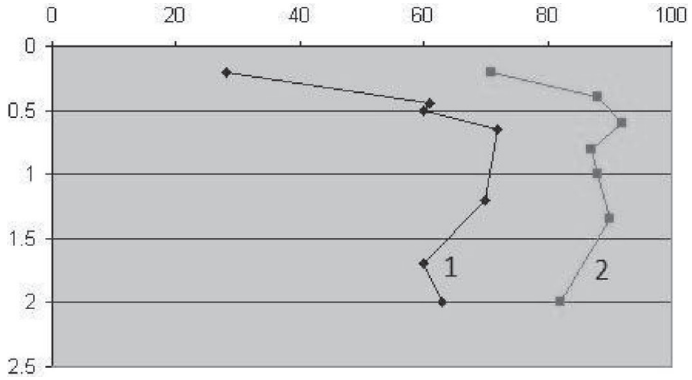

Рис. 20. Распределение влажности (%) по глубине (м). 2011 г. Низинное болото (1); верховое болото (2).

Влажность торфа в 28.3% и 44% свидетельствует о том, что на территории водноболотного Дубненского массива временами создается пожароопасная обстановка, при которой внешние причины могут вызвать возгорание. В данном случае речь не идет о самовозгорании, которое обычно происходит в штабелях торфа, оставленных на полях под открытым небом, а о случайно брошенном окурке или не затушенном костре [36].

Полевые исследования показали, что на изучаемом болоте при сухой жаркой летней погоде УБВ снижается до 2 м от поверхности. В обычные годы он составляет в мае 0.1-0.3 м, а в период летней межени снижается до 1.2-2 м (рис. 21).

Положение УБВ главным образом зависит от количества выпавших осадков. Приводимые графики УБВ относятся к 2002 г. с годовыми осадками 490 мм (данные метеорологического поста Иваньковской НИС ИВП РАН). Вертикальное распределение влажности, сформировавшееся после таяния снега, мало меняется в летнее время во всем разрезе, кроме его самой верхней части. Даже в жаркие летние месяцы влажность может измениться лишь на несколько процентов (до 10%), что обычно не влияет на степень пожарной опасности.

В целях предотвращения торфяных пожаров на территории торфоболотного массива рекомендуется организовать мониторинг влажности торфа на открытых участках вдали от водоемов и мелиоративных каналов, а также в местах, где сельскохозяйственное использование торфяных массивов ведет к нарушению естественной структуры торфа. На мониторинговых площадках необходимо пробурить наблюдательные скважины за УБВ глубиной 3 м и в летний период отбирать образцы торфа на определение влажности в разрезах глубиной до 0.5 м. Замеры уровня воды и отбор проб на влажность рекомендуется проводить еженедельно. При обнаружении пониженной естественной влажности торфа (< 40%) следует вести наблюдения за состоянием выявленных пожароопасных участков (обход территории) через каждые 3 дня.

На Дубненском торфяном болоте заказника «Журавлиная Родина» в 2012-2013 гг. проведены работы по обводнению участков в районе скв. № 5 и № 8 (рис. 17). Гидротехнические работы заключались, в основном, в обеспече-

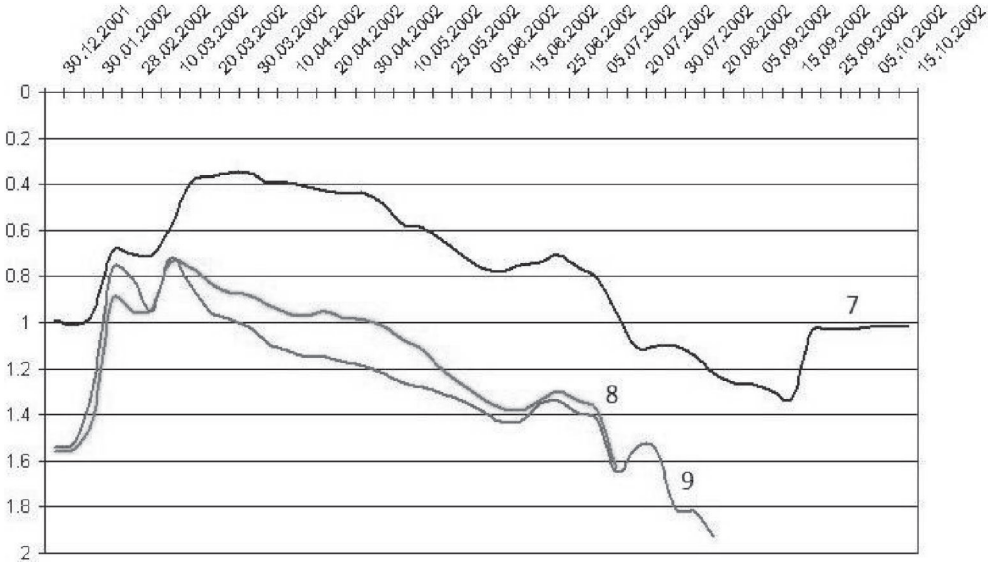

Рис. 21. Уровень болотных вод в режимных скважинах № 7, № 8 и № 9.

нии территории резервуарами для поверхностных вод, то есть каналами и противопожарным прудом, находящимися в шаговой доступности, а также в организации путей подъезда к ним. Эти мероприятия отвечают требованиям служб, ответственных за тушение возникающих пожаров. В то же время для уменьшения вероятности возникновения пожаров, а также для целей экологического характера, гораздо важнее обеспечить распределение воды по торфяному массиву, а не наличие ее в каналах, расположенных в 500 м друг от друга.

Открытые водоемы, разумеется, влияют на динамику уровня подземных вод, причем они могут способствовать как повышению, так и понижению уровня, так как система каналов на массиве «Журавлиная Родина» предполагает возможность регулировать уровни воды в них. Однако обычно при обводнении торфяников оценки запасов подземных вод имеют низкую надежность или не делаются вообще. Это связано с тем, что на болотных массивах значительной площади практически невозможно собрать данные, необходимые для постановки и решения фильтрационных задач. На торфяниках такие параметры, как коэффициенты фильтрации грунта, начальная влажность и начальный УБВ, интенсивность внешних притоков и оттоков влаги за счет осадков, испарения и транспирации, характеризуются высокой изменчивостью и никогда не бывают известны с достаточной для постановки задач достоверностью. Фактически доступными характеристиками объекта обычно являются данные геодезической съемки и общие сведения о геологических типах пород, слагающих и подстилающих торфяник. Любые модельные расчеты состояния подземных вод, основанные только на этих доступных данных, будут уязвимы для критики при экспертизе проекта обводнения, поэтому проектировщики стараются избегать

каких-либо количественных прогнозных оценок в отношении влияния произведенных работ на состояние подземных вод на торфянике.

Некоторые грубые оценки эффективности мероприятий по обводнению болотного массива «Журавлиная Родина» можно, тем не менее, построить, опираясь на имеющуюся минимальную гидрогеологическую информацию, при помощи сильно упрощенных фильтрационных схем.

Система гидротехнических сооружений для обводнения участка «Журавлиной родины» представляет собой сеть каналов, восстановленных на месте бывших дренажных канав, а также построенных вновь. Эта сеть имеет выход в р. Дубну. Расстояние между соседними параллельными каналами составляет ~500 м, а их глубина – порядка 3 м. Каналы в ряде мест перегорожены регулируемыми плотинами, позволяющими распределять имеющуюся в них воду равномерно по всей сети и не допускать ее вытекания в реку. Забор воды для заполнения каналов осуществляется по мере необходимости из реки в искусственный водоем, расположенный в зоне с наивысшей отметкой рельефа в северной части обводняемого участка. Проект обводнения предполагает, что посредством управления уровнем воды в каналах можно контролировать и уровень грунтовых вод на всей площади участка. В частности, если в засушливый период поднять уровень воды в каналах на пару метров, то и грунтовые воды со временем поднимутся. Это, в свою очередь, снизит вероятность возникновения пожаров на болоте и благотворно скажется на условиях существования местной флоры и фауны.

Для грубой оценки характерного времени, за которое УБВ в какой-нибудь точке, удаленной от соседних параллельных каналов на расстояние $L = 250$ м, отреагирует на изменение уровня воды в каналах можно воспользоваться приближенной формулой

$$T \sim \frac{mL^2}{kH},$$

где k – коэффициент продольной фильтрации грунта, m – эффективная пористость ненасыщенной зоны (то есть доля объема среды, находящейся над поверхностью грунтовых вод, занятая воздухом), H – толщина слоя между водоупором и поверхностью грунтовых вод.

Эта формула следует из простейшей профильной модели безнапорной фильтрации в слое однородного грунта, размещенного на ровном горизонтальном водоупоре, в приближении Буссинеска. Фактическая структура среды не отвечает условиям, принятым в этой модели. Породы, занятые грунтовыми водами, весьма далеки от однородных. Коэффициент фильтрации меняется на пару порядков как по вертикали, так и в горизонтальных направлениях. Диапазон изменения эффективной пористости m не столь велик, но пространственное распределение этого параметра также неизвестно. Работы, проведенные на болоте, не позволили выявить единую границу, которую можно принять в качестве водоупора. Во всяком случае, такая граница в масштабах рассматриваемого участка болотного массива вряд ли является ровной и горизонтальной. Тем не менее, учитывая монотонность приведенного выражения по k, H и m, можно надеяться получить грубые оценки сверху или снизу для характерного времени T, если взять значения этих параметров «с запасом». Предполагая, что $k \leq 0.1$ м/сут, $m \geq 0.2$, $H \leq 10$ м, мы получим

$$T \geq 12500 \text{ сут.}$$

Отсюда следует вывод, что уровень грунтовых вод на территории между каналами не успеет существенно отреагировать на изменение уровней воды в каналах за приемлемое время. За те несколько недель, по истечении которых начнутся осенние дожди и снижение пожароопасности перестанет быть актуальным, изменение уровня за счет горизонтального перемещения грунтовых вод в направлении от каналов окажется несущественным. В соответствии с этой оценкой уровень грунтовых вод будет регулироваться главным образом вертикальными естественными процессами, то есть инфильтрацией, испарением и транспирацией. Влияние изменений уровня воды в каналах на грунтовые воды будет сказываться только в зонах, близко примыкающих к каналам. На остальной площади массива для активного управления уровнем грунтовых вод с помощью системы каналов требуется либо грунт с коэффициентом фильтрации на три порядка больше, что совершенно не характерно для болотных отложений Заказника, либо расстояние между каналами должно быть порядка 20 м, что недопустимо по экономическим и экологическим причинам. Следует отметить, что для болотных массивов, подстилаемых мощными песчаными горизонтами (к таким массивам относятся, например, торфяники «Радовицкий Мох» и торфяники НП «Мещера»), мероприятия по обводнению, аналогичные примененным на «Журавлиной Родине», могут оказаться эффективными в отношении возможностей оперативного регулирования положения УБВ.

По аналогичной методике можно оценивать некоторые другие параметры, характеризующие эффективность мероприятий по обводнению «Журавлиной Родины». Например, при помощи той же модели для оценки характерного расстояния l, от ближайшего канала, на котором уровень грунтовых вод существенно изменяется, при изменении уровня в канале за приемлемое время t, получается приближенная формула

$$l \sim \sqrt{kHt / m}.$$

Полагая здесь $k \leq 0.1$ м/сут, $m \geq 0.2$, $H \leq 10$ м, $t \leq 30$ сут, мы получим

$$l \leq 12 \text{ м.}$$

Эта оценка показывает, что регулирование положения поверхности грунтовых вод возможно в зоне, находящейся в 10-20 м от действующих каналов. Эта зона занимает небольшую долю общей площади Дубненского болотного массива, но, тем не менее, определенное значение для обеспечения пожарной безопасности она может иметь [37, 38].

В течение 20-летних работ на торфоболотном Дубненском массиве заказника «Журавлиная Родина», было произведено бурение 30 скважин, составлено около 20 эпюр влажности торфа различного типа. Наши исследования показали, что в некоторые годы создаются условия, благоприятные для возникновения пожаров, например, в августе 2011 г. влажность верхних слоев низинного торфа снижалась до 28.3%, а мезотрофного торфа – до 40%. Низкие значения влажности торфа были зафиксированы в 2002 и 2003 гг.

Таким образом, при выявленных параметрах среды горизонтальное перемещение грунтовых вод за те несколько летних недель, по истечении которых начнутся осенние дожди, обводнение перестанет быть актуальным, и уровень

грунтовых вод будет регулироваться вертикальными естественными процессами: т.е. инфильтрацией, испарением и транспирацией. Для активного управления уровнем с помощью системы каналов необходимо уменьшить расстояние между ними до 20 м. Работающие в Заказнике орнитологи [39] также считают, что полноценного восстановления описываемых территорий не произошло; по их наблюдениям серый журавль, являющийся видом-индикатором естественных или слабонарушенных водно-болотных условий здесь не расселился, в отличие от других аналогичных территорий этого района.

1.6. Болота Национального парка «Лосиный Остров» (Московская область)

В Национальном парке «Лосиный остров» (рис. 22), в его северной части, в верховье р. Яуза, распространены торфяные болота, которые являются предметом наших исследований. Национальный парк, основанный в 1983 г.,

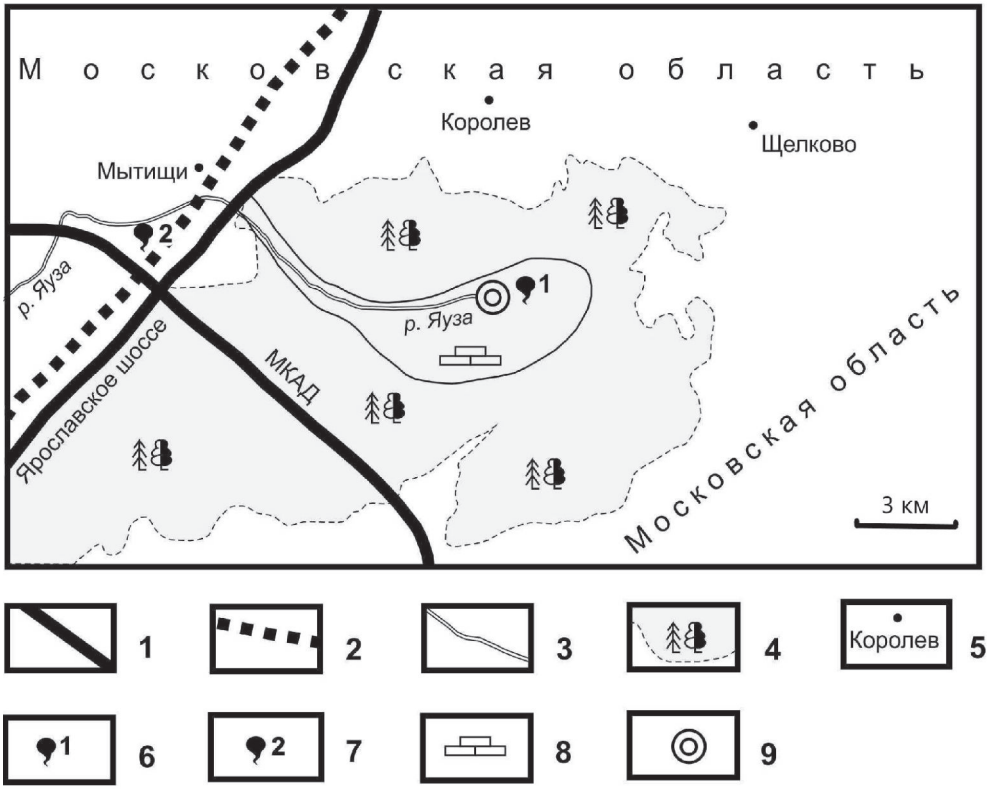

Рис. 22. Схема северной части Национального парка «Лосиный остров».
1 – транспортные магистрали; 2 – Ярославская железная дорога; 3 – р. Яуза; 4 – территория НП «Лосиный остров»; 5 – расположение городов МО; 6 – исток р. Яузы; 7 – родник в долине р. Сукромка; 8 – бывшие торфоразработки; 9 – место отбора болотной воды с бывших торфоразработок.

расположен на северо-востоке Москвы, 1/3 его территории находится в пределах Москвы, а 2/3 территории – в Московской области. Эти места издавна были охотничьими угодьями великих русских князей и царей. Близ современного г. Мытищи в IX-XII вв. располагался волок лодок из р. Яузы в р. Клязьму (за что взималась плата (пошлина) – мыт, давшая название селу, а, впоследствии, городу Мытищи). До сих пор в парке обитают около 10 видов млекопитающих: лоси, пятнистые олени, кабаны, лисы, барсуки, горностаи, ондатры, зайцы, бобры и норки. Здесь гнездятся около 125 видов птиц. С 1937 г. Лосиный Остров стал частью зеленого кольца вокруг столицы (см. Вклейку, рис. 23). С 1983 г. имеет статус Национального парка. Общая площадь парка около 125 кв.км, основная территория занята лесами сосновыми и смешанными, на севере расположены торфяные болота, а среди них – известные мытищинские ключи, снабжавшие питьевой водой жителей города Москвы с Екатерининских времен [40]. В настоящее время мытищинский водозабор подает воду в г. Мытищи и его пригороды. Водоснабжение столицы проводится главным образом за счет волжской воды, подаваемой по каналу Москва-Волга, построенному в 1937 г. Здесь, в Мытищинских болотах, находится исток р. Яузы, сыгравшей видную роль в становлении русского флота при Петре I [41-42].

Водно-болотный комплекс приурочен к древней долине стока р. Яузы [43]. На пойме и террасах реки развиты низинные торфяники мощностью до 2-х метров в западной части комплекса и около 1.0-1.5 м в восточной. Торф коричневого цвета, по составу он преимущественно тростниковый, местами осоково-травянистый, хорошо разложившийся, плотный, водонасыщенный, его зольность – до 40%, степень разложения – 35-50%. Торф залегает на флювиогляциальных песчано-глинистых водонасыщенных породах. Болотные воды стоят близ поверхности земли. Они получают грунтовое питание за счет разгрузки ниже залегающих водоносных горизонтов [44]. По словам местных жителей и работников Национального парка, зимой на торфяниках можно увидеть незамерзающие «окна» или озерки диаметром 0.5-2.0 м с пресной водой, свидетельствующие о наличии ключей, разгружающихся в данном месте. Болотные воды по нашим определениям имеют значения pH 7.0-7.7 единиц, значения окислительно-восстановительного потенциала всегда отрицательные, от -190 до -308 мВ, что характерно для подстилающих слабонапорных, бескислородных вод флювиогляциальных или, возможно, карбонатных пород. Болотные воды гидрокарбонатно-кальциевые, бурого цвета, их цветность 25-200 градусов цветности, перманганатная окисляемость – 6.8-47.2 мг О/см^3, содержание железа общего достаточно высокое – 2.45-4.86 мг/дм^3. Химический состав болотной воды следующий (табл. 20). Нами сделан дополнительно химический анализ болотной воды на содержание металлов и редкоземельных элементов из заброшенного карьера и шурфа (табл. 21).

В болотных водах содержится 0.2–0.3 мг/дм^3 фтора, что свидетельствует о гидрогеологической связи болотных вод с ниже залегающими подземными водами.

Химический состав воды близок к составу воды из водопровода, подающего питьевую воду в г. Мытищи за счет эксплуатации водоносных горизонтов флювиогляциальных отложений и вод верхнего карбона (глубина скважин 10-50 м,

Таблица 20. Химический анализ воды НП «Лосиный остров», октябрь 2014 г.

Показатель	НП «Лосиный остров»			р. Сукромка, село Тайнинское, за храмом Благовещения Пресвятой Богородицы (техногенный район), для сравнения, № 26/14	Ручей – исток р. Яузы
	Вода из карьера № 27/14	Болотная вода (закопушка) с глубины 30 см, № 28/14	Болотная вода (верхнеяузские болота) ближе к оз. Булганинское, с поверхности, № 29/14		
$pH_{водн.}$	7.8	6.5	6.8	8.1	7.4
У.э.в., мСм/м	60.3±6.3	51.0±5.1	40.1±4.0	105.4±10.5	61
ПО, мг О/дм^3	6.8±0.7	45.6±4.6	47.2±4.7	7.8±0.8	18.2
у, град. цветности	25±10	200±20	180±18	20±8	65
Ca^{2+}+ Mg^{2+}, мг-экв/дм^3	4.21±0.38	4.68±0.42	3.7±0.3	5.77±0.52	7.4
$P_{общий}$, мг Р/дм^3	0.06±0.01	0.08±0.02	0.17±0.03	0.09±0.02	–
мг/дм^3					
Ca^{2+}	62.5±6.9	64.1±7.1	59.3±6.5	79.8±8.8	98.4
$Fe_{общ.}$ (растворенное)	0.19±0.03	4.86±0.21	2.45±0.17	0.15±0.02	2.35
PO_4^{3-}	0.07±0.01	0.20±0.03	0.21±0.03	0.16±0.03	2.08
NH_4^+	1.0±0.4	не определяли	0.96±0.34	0.65±0.23	2.1
NO_2^-	0.008±0.002	не определяли	0.007±0.002	0.030±0.008	0.008
NO_3^-	0.23±0.04	1.5±0.2	0.54±0.01	0.22±0.04	0.32
SO_4^{2-}	19.8±2.7	13.5±1.7	18.2±2.3	70.3±8.4	16
HCO_3^-	219.6±8.6	244.0±9.3	195.2±7.9	286.7±10.6	262
Cl^-	30.2±3.3	≤2	≤5	59.6±5.4	16.8
Mn^{2+}	0.28±0.06	0.35±0.08	0.84±0.18	0.10	0.74
M_z	392	332	260	–	396

Таблица 21. Содержание металлов в болотных водах по данным ИСП-МС (2014 г., в мг/дм^3)

№	Элемент	Лосиный остров	
		Карьер (с поверхности)	Болотная вода из шурфа (h = 0.35 м)
1	2	3	4
1	Li	0.00253	0.00061
2	Be	не обнаружено (н.о.)	0.0004
3	B	0.05329	0.02916
4	Na	17.882	1.128
5	Mg	11.24	9.607
6	Al	0.0481	0.10524
7	K	1.848	0.134
8	Ti	0.00404	0.00586
9	V	0.00037	0.00143
10	Cr	0.00371	0.00653
11	Co	0.00016	0.00112
12	Ni	0.00009	0.00541
13	Cu	0.01456	0.00696
14	Zn	0.0123	0.00952
15	As	0.00114	0.00197
16	Br	0.03756	0.01943
17	Rb	0.00158	0.0004
18	Sr	0.18007	0.15307
19	Y	0.00006	0.00091
20	Zr	0.00018	0.00262
21	Nb	0.00001	0.00009
22	Mo	0.0002	0.00026
23	Ru	н.о.	н.о.
24	Rh	0.00002	0.000006
25	Ag	0.00001	0.000004
26	Cd	н.о.	0.000023
27	Sn	0.00128	0.00083
28	Sb	0.00004	0.00017
29	Cs	н.о.	0.000001
30	Ba	0.04541	0.03507
31	La	0.00002	0.0004
32	Ce	н.о.	0.00097
33	Pr	н.о.	0.0001
34	Nd	н.о.	0.00046
35	Sm	н.о.	0.00013
36	Eu	0.000009	0.00002
37	Gd	н.о.	0.00012
38	Tb	н.о.	0.00003
39	Dy	н.о.	000012
40	Ho	0.000002	0.00003
41	Er	н.о.	0.00004

1	2	3	4
42	Tm	0.000004	0.00001
43	Yb	н.о.	0.00005
44	Lu	0.000002	0.00002
45	Hf	н.о.	0.00004
46	Ta	н.о.	н.о.
47	W	0.00008	0.00004
48	Pb	0.00008	0.00036
49	Bi	н.о.	н.о.
50	Th	0.00003	0.00009
51	U	0.00019	0.0002

pH воды 7.0-7.3 единиц, повышено содержание кальция и магния 60-100 мг/дм^3, иногда железа до 3 мг/дм^3).

Под флювиогляциальными отложениями мощностью до 10 м залегают юрские глины мощностью 7-12 м. Глины размыты, имеют гидрогеологические окна, по которым возможен приток напорных вод известняков верхнего карбона, имеющих мощность 200–220 м и залегающих повсеместно на описываемой площади.

Нами определен также химический состав торфа и подстилающих суглинков (табл. 22).

Из табл. 22 видно, что торф высокозольный, содержит в повышенном количестве железо (двухвалентное преобладает над трехвалентным), несколько повышено содержание Ca и Mg, а также биогенов $N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NH_4$, P_2O_5 и SO_4.

Разработка торфа, как топлива для кирпичных заводов, началась в долине р. Яуза близ железнодорожной станции Болшево в XIX в. Торфоразработка велась вручную, без применения техники. В центральной части торфоразработок был построен поселок для рабочих, в конце XIX в. построены две линии узкоколейки для вывоза торфа в села Болшево и Большие Мытищи. В 1930-е гг. были проведены мелиоративные осушительные работы. Было углублено русло р. Яузы, что привело к дренированности территории. До 1942 г. добывался кусковой торф, после 1942 г. – фрезерный. Во время Великой отечественной войны 1941–1945 гг. торфоразработки велись очень интенсивно. Сырье шло на военные заводы, в частности на орудийный завод № 8 в г. Калининграде (теперь г. Королев). В 1978 г. торфоразработки были прекращены.

В настоящее время места бывших торфоразработок представляют собой заповедную, редко посещаемую людьми территорию. Частично здесь происходит естественное восстановление болот: торфяные карьеры глубиной 2–3 м покрываются растительностью, восстанавливаются редкие растения, бобры строят плотины, регулируя сток реки, происходит естественное увеличение площади болот. На территории болотного комплекса можно вести мониторинговые наблюдения за жизнью низинных болот, за влиянием антропогенной нагрузки больших городов (Москвы и Мытищ) на загрязнение ландшафтов Национального парка «Лосиный Остров» и др.

Таблица 22. Химический анализ торфа и подстилающих суглинков, 2014 г.

Показатель		Название и номер пробы, глубина отбора		
		Торф, поверхность, № 49/14 0–20 см	Торф, № 50/14 20 см	Суглинок, № 51/14 30 см
$pH_{водн.}$		6.3	6.3	6.8
$pH_{солевой}$		5.5	5.4	5.8
Железо, мг/100 г	Fe^{2+}	4.3	4.17	2.78
	Fe^{3+}	2.21	2.42	2.26
	$Fe_{общее}$	6.51	6.59	5.04
NH_4^+ поглощенный, мг N/100 г		362	7.6	5.4
Сумма поглощенных оснований, мг-экв/100 г		43.9	21.6	15.8
Гидролитическая кислотность, мг-экв/100 г		24.6	20.9	9.36
Степень насыщенности основаниями, %		64.1	50.8	62.8
Фосфор по Кирсанову, мг P_2O_5/100 г		16.1	17.2	52.8
A^d, %		70	81.5	–
Кальций обменный, мг-экв/100 г		49.1	39.4	19.2
Магний обменный, мг-экв/100 г		6.95	5.14	3.47
Водная вытяжка				
Разведение пробы		1:50	1:50	1:5
Электропроводность, мСм/м		6.9	3.8	7.4
ПО, мг С/100 г		64.2	56.7	6.4
Цветность, град. Pt-Co		86	89	146
Сухой остаток, %		0.42	0.22	0.05
NO_3^-, мг N/100 г		2	1.4	1.9
SO_4^{2-}, мг/100 г		101.9	53.9	5.4
HCO_3^-, %		0.2	0.12	0.017
Cl^-, %		0.03	0.01	0.001
Ca^{2+}, растворенный, мг-экв/100 г		2.3	0.89	0.33
Mg^{2+}, растворенный, мг-экв/100 г		1.61	1.16	0.2

Основная река Лосиноостровских болот – р. Яуза претерпела большие изменения . С конца XIX века, когда начались интенсивные торфоразработки, длившиеся до 1978 г., русло реки неоднократно углублялось, берега спрямлялись, строились дамбы и плотины. Река стала мелеть, ее гидрологический режим изменился – паводковые уровни стали отличаться от меженных всего на 0.5-1.2 м, меженный уровень сейчас выражен неотчетливо. Река сильно загрязнена: вода в ней мутная, с повышенной цветностью, неприятным запахом, содержит много железа, марганца, органического вещества.

Основное направление деятельности Национального парка «Лосиный Остров» – развитие экотуризма. Однако у Парка в настоящее время возникла серьезная проблема, обсуждаемая с 2013 г. – проложение по территории Парка дублера Щелковского шоссе. Пока окончательного решения по строительству

шоссе нет, но в случае его осуществления это будет катастрофой для флоры и фауны этого «чуда природы», сохранившегося с 17 века.

1.7. Торфяной массив «Радовицкий Мох» (Московская область)

Торфяной массив «Радовицкий Мох» – это болото в юго-восточной части обширной Мещерской низменности, протянувшейся от г. Москвы на западе до г. Гусь-Хрустальный на востоке (рис. 24). Оно входит в Шатурский район

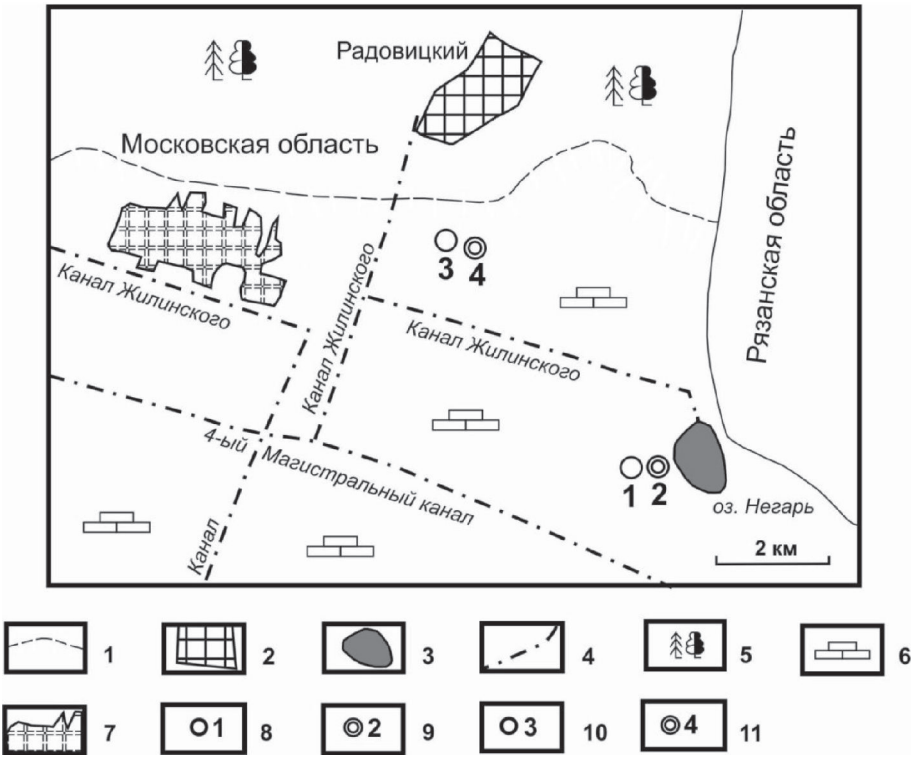

Рис. 24. Карта торфяного массива «Радовицкий Мох» (https://www.drive2.ru/l/5371446/).

1 – условная граница торфоразработок; 2 – территория п. Радовицкий; 3 – оз. Негарь; 4 – линии сети основных мелиоративных каналов; 5 – лес; 6 – бывшие торфоразработки; 7 – торфяной карьер; 8 – мониторинговая площадка; 9 – скважины 2014 г.; 10 – описание восстановленных мелиоративных каналов; 11 – площадка, где проведено подтопление.

Московской области. В его восточной части близ границы с Рязанской областью находится заказник «Радовицкий Мох» общей площадью 3901.9 га, основанный в 1988 г. Цель его создания – сохранение и восстановление природных комплексов после пожаров, сохранение местообитания редких видов растений и животных, ведение мониторинга видов растений и животных, занесенных

в Красную книгу Российской Федерации и Московской области; выполнение научно-исследовательских работ по изучению объектов особой охраны Заказника – сосновых лесов, верховых, переходных и низинных болот, черноольшанников. Растения, которые требуют охраны, это – прострел раскрытый или сон-трава, вероника седая, пузырчатка промежуточная, любка зеленоцветковая, лютик стелющийся. Из животных это – змеед, речная выдра, жаворонок лесной, луговой лунь, серый журавль, обыкновенная гадюка и уж.

Болото начали осваивать в конце XIX в. Был построен канал Жилинского – первый в России крупный канал, предназначенный для осушения и сельскохозяйственного освоения земель. В начале XX в. здесь стали разрабатывать торф для проектируемой электростанции на торфе в г. Шатуре. Разработка велась методом гидроторфа, а с 1952 г. – фрезерным методом. В начале 1990-х годов XX вв. торфоразработки практически прекратились.

Болото «Радовицкий Мох» имеет общую площадь 28767 га, причем верховые болота занимают около 53% площади, низинные – 44%, переходные – около 3%. Мощность верхового торфа (в естественном залегании) составляла до 7 м. После торфоразработок и неоднократных пожаров их мощность сократилась до 1.5–2.0, местами до 0.1–0.2 м. Мощность низинного торфа достигала 6.0 м, сейчас местами она составляет 0.1 м. Верховой торф имеет зольность 3–10%, степень разложения – до 25%; низинный торф – зольность 25–35%, степень разложения до 50%. Под торфом залегают пески аллювиальные и флювиогляциальные мощностью от 3 до 40 м. Их коэффициент фильтрации – 0.8–4.7 м/сут. Ниже залегают глины верхнеюрского возраста мощностью до 35 м, еще ниже – известняки среднего карбона.

Пожары на выработанных торфяниках случались довольно часто (см. Вклейку, рис. 25). Пожар 2010 г. был обнаружен по космоснимкам в первую половину июля. Была охвачена территория в несколько тысяч га [45]. Сгорели населенные пункты Мокрое и Каданок, погибло по официальным данным 10 человек. Зимой 2010–2011 гг. пожар продолжался под снегом в районе деревень Ольшаны и Моховое (см. Вклейку, рис. 26).

Наши исследования проводились с марта 2011 г. На западе болота близ деревень Ольшаны и Радовицы, и в восточной части болота близ озера Негарь торф выгорел почти до подстилающих пород. Здесь в летний период 2011–2016 гг. близ озера Негарь была заложена мониторинговая площадка (см. Вклейку, рис. 25), где отбирались пробы торфа и золы, болотная вода, образцы на микробиологический анализ, велись наблюдения за восстановлением растительности. Поверхность площадки была неровная, покрытая ярко-желтой золой мощностью 0.1–0.2 м. Ниже залегал пирогенный торф темно-коричневого цвета, уплотненный, пластичный мощностью 10–20 см, местами под золой встречались мелкие кусочки угля, еще ниже – супеси, переходящие в пески. Ниже приведены результаты химического анализа золы, пирогенного торфа и для сравнения – природного негорелого торфа (табл. 23).

Более полная характеристика золы и пирогенного торфа приведена в табл. 24 для разреза мощностью 0.4 м (до подстилающих песков), находящегося в 50 м от мониторинговой площадки.

Таблица 23. Химический состав водной вытяжки из золы и пирогенного торфа болота «Радовицкий Мох» в августе 2011, 2014 и 2015 гг., а также не горелого торфа

Показатель	Исходный образец	Год		
		2011	2014	2015
УБВ, м	0.6	0.35	0.9	0.8
Характеристика образца	Природный торф	Зола		Золы нет, пирогенный торф
Горизонт 1, поверхность				
pH	6.2	7.9	6.9	4.67
Цветность, град. цветности	391	17	11	228
ПО, мг С/100 г	170	164	6.1	68.4
$P_{кирс.}$	14.1	11.2	54.2	22.3
SO_4^{2-}	125	565	41.4	18.1
Ca^{2+}	124	546	32	11.4
$Fe_{общ.}$	91	19.6	6.78	1.56
$N\text{-}NH_4^+$	65.4	0.78	9.4	0.3
$N\text{-}NO_3^-$	53	0.95	1.3	2
Горизонт 2, 0.1÷0.3 м				
pH	Нет данных	9.7	4.4	4.6
Цв, град.	То же	23	74	41
ПО, мг С/100 г	-"-	8	252	6.4
$P_{кирс.}$	-"-	8.5	3.05	3.25
SO_4^{2-}	-"-	40.4	3.05	0.85
Ca^{2+}	-"-	16.4	10.6	1.6
$Fe_{общ.}$	-"-	10.7	1.74	0.46
$N\text{-}NH_4^+$	-"-	1.78	0.39	0.35
$N\text{-}NO_3^-$	-"-	0.24	0.95	0.2

На торфянике «Радовицкий Мох» содержание химических элементов в зольном горизонте с годами уменьшается. Например, содержание сульфат-ионов и ионов кальция в 2011 г. составляло 565 мг/100 г и 546 мг/100 г породы, а в 2015 г. – 18.1 и 11.4 мг/100 г соответственно. Значительно уменьшилось содержание ионов железа по сравнению с 2011 г. и до пожарного периода. Значение pH болотной воды в 2015 г. стало составлять 4.67 ед. pH, а в 2011 г. – было 7.9–9.3 ед. pH, в природном торфе (до пожара) – 6.2 ед. pH. Исходя из приведенных показателей, можно сказать, что влияние пожара постепенно сглаживается, формируется верхний почвенный горизонт.

Восстановление химического состава болотных вод происходит гораздо быстрее, чем на болоте «Галицкий Мох». На болоте «Радовицкий Мох» практически произошло его восстановление к 2015 г. Значение pH, сульфат-ионов, ионов кальция, фосфора, азота (нитратного и аммонийного) и сухого остатка почти сравнялись с фоновыми значениями, лишь содержание органического вещества уменьшилось в 5–7 раз.

В табл. 25 приведены физико-химические показатели пирогенного и природного торфа Радовицкого Мха в сравнении с Галицким Мхом.

Таблица 24. Химический анализ грунта («Радовицкий Мох») 29 сентябрь – 2 октябрь 2014 г.

Показатель		Название и номер пробы, глубина отбора						
		Разрез 1				Разрез 2		
		№ 41/14 h = 0.15 м, зола торфяная	№ 42/14 h = 0.2 м, угли торфяные	№ 43/14 h = 0.35 м, торф обугленный	№ 44/14 h = 0.45 м, песок ожелезненный	№ 45/14 h = 0.15 м, зола светло-бежевая	№ 46/14 h = 0.2 м, угли по сгоревшему торфу	№ 47/14 h = 0.3 м, торф обгоревший
$pH_{водн.}$		6.9	4.9	4.5	4.8	6.4	4.8	4.4
$pH_{солевой}$		6.4	3.9	3.5	4.1	6.1	4.2	3.9
Железо, мг/100 г	Fe^{2+}	1.61	0.43	0.21	1.2	1.06	0.4	0.37
	Fe^{3+}	5.17	1.14	0.53	1.46	2.41	2.74	1.37
	$Fe_{общ.}$	6.78	1.57	0.74	2.66	3.47	3.14	1.74
NH_4^+ поглощенный, мг N/100 г		9.4	1.2	1.7	0.35	1.9	2.2	0.39
S, мг-экв/100 г		5.3	5.2	57.8	36.4	48.2	68.9	20.8
H, мг-экв/100 г		17.2	39.8	47.2	17.2	20.8	58.8	37.4
V, %		23.6	11.6	55	67.9	69.9	54	35.7
Фосфор по Кирсанову, мг P_2O_5/100 г		54.2	10.5	4.83	7.95	29.4	17.1	3.05
A^d, %		95.1	66.1	79.7	–	90	67.7	90.4
Кальций обменный, мг-экв/100 г		9.3	8.8	11.3	3.3	8.7	20.9	9.6
Магний обменный, мг-экв/100 г		1.7	3.7	5.8	1.95	4.9	19	9.0
Водная вытяжка								
Разведение пробы		1:50	1:50	1:50	1:5	1:50	1:5	1:50
У.э.в., мСм/м		4.9	1.7	1.4	2.5	8.9	5	4.6
ПО, мг С/100 г		12.6	21.6	19.1	3.5	8.1	38.5	25.2
Цветность, град. цветности		11	46	53	95	8	86	74
Сухой остаток, %		0.357	0.103	0.069	0.03	0.24	0.118	0.41
NO_3^-, мг N/100 г		1.3	1.3	1.6	0.52	2.1	1.3	0.95
SO_4^{2-}, мг/100 г		41.4	13.8	11.9	1.1	239.2	64.7	57.2
HCO_3^-, %		0.115	0.038	0.064	0.008	0.066	0.065	0.09
Cl^-, %		0.01	0.004	0.007	0.007	0.011	0.011	0.011
Ca^{2+}, растворенный, мг-экв/100 г		1.6	0.52	0.6	0.11	2.5	1.6	0.53
Mg^{2+}, растворенный, мг-экв/100 г		1	0.98	1.5	0.1	0.7	0.5	1.07

Таблица 25. Сравнение физико-химических показателей торфа (2011 г.)

Показатель	Галицкий Мох		Радовицкий Мох	
	природный торф	пирогенный торф	природный торф	пирогенный торф
Глубина отбора, м	0.5	0.15	0.3	0.12
w, %	70.3	2.7	55.6	7.1
A^d, %	9.3	49.1	3.8	76.5
ОВ, %	90.7	50.9	96.2	23.5

Болото «Радовицкий Мох» отличается от болота «Галицкий Мох». Радовицкий Мох на изучаемой площади – это низинное болото, оно выгорело почти до минерального дна; интенсивность пожара (судя по значениям зольности и содержанию оставшегося органического вещества в пирогенном торфе) на Радовицком болоте была в два раза сильнее, чем на Галицком.

Нами было определено также содержание металлов в золе и торфе (табл. 26). Результаты были получены методом МС-ИСП [46].

Некоторые предварительные данные и характеристика образцов представлены ниже:

1. Образец № 77 – горел, взят с глубины 0.3 м, содержание азота – < 0.03%; углерода (общий) – 3.10%; водорода – 0.51% и серы – 0.084%. Масса сухого торфа, взятого на анализ, – 4.6 г. Масса полученной золы – 3.81 г.

2. Образец № 76а – не горел. Масса сухого торфа, взятого на анализ, – 0.79 г. Масса полученной золы – 0.03 г.

3. Образец № 72а – горел. Масса сухого торфа, взятого на анализ, – 3.38 г. Масса полученной золы – 2.59 г.

Анализируя данные табл. 26 можно отметить несколько повышенное содержание ванадия (58.3-66.8 мг/кг), стронция (254.9-324.9 мг/кг), бария (381.3-466.5 мг/кг), свинца (29.6 мг/кг), бериллия (0.3-0.5 мг/кг), высокое содержания мышьяка (4.25-8.12 мг/кг). Эти цифры в несколько раз превышают данные 1974 г. [47].

Наши наблюдения за восстановлением растительности приведены в табл. 27.

Восстановление растительности после пожара на болоте «Радовицкий Мох» происходит достаточно интенсивно. В месте заложения мониторинговой площадки болото получает подпитку подземных вод (об этом свидетельствуют значения электропроводности, они всегда ниже нуля, до -198). Другая особенность этого участка – песчаные подстилающие породы с высокими коэффициентами фильтрации. Также надо учитывать то обстоятельство, что в 2011-2013 гг. выгоревшее болото было обводнено, т.е. уровень болотных вод был поднят на 20-30 см на межканальной территории, и уровни болотной воды не стали подвергаться резким колебаниям.

На болоте «Радовицкий Мох» во время пожара 2010 г. лесной массив сохранился частично. На уцелевших участках в основном отмечаются сосна и береза. Сосна более устойчива к огневому воздействию, благодаря толстой коре в нижней части ствола, высоко поднятой кроне и глубокой корневой системе. Береза менее устойчива к огню, но все-таки, по мнению специалистов-лесо-

Таблица 26. Элементный состав проб с площадки «Радовицкий Мох» по данным МС-ИСП (в мг/кг; где в % – отмечено в табл.)

№ по п/п	Элемент	№ 72а	№ 76а	№ 77
1	2	3	4	5
1	Литий Li	0.316	4.502	0.046
2	Бериллий Be	0.487	0.289	0.0038
3	Бор B	10.66	27.61	0.84
4	Натрий Na, %	0.017	0.12	0
5	Магний Mg, %	0.038	0.28	0.001
6	Алюминий Al, %	0.911	1.84	0.031
7	Кремний Si, %	0.431	1.73	0.019
8	Фосфор P, %	0.265	0.289	0.007
9	Калий K, %	0.037	0.184	0.002
10	Кальций Ca, %	2.223	7.76	0.047
11	Скандий Sc	3.522	2.552	0
12	Титан Ti	203.52	730.5	5.52
13	Ванадий V	58.35	66.82	3.95
14	Хром Cr	12.44	2.99	0
15	Марганец Mn	26.28	224.01	0.265
16	Железо Fe, %	0.2	1.65	0
17	Кобальт Co	0.69	3.396	0.0055
18	Никель Ni	0	0	0
19	Медь Cu	6.74	30.296	0.124
20	Цинк Zn	1.89	11.14	0
21	Галлий Ga	1.93	5.83	0.034
22	Германий Ge	0.26	0.35	0.007
23	Мышьяк As	8.12	4.25	0.228
24	Рубидий Rb	2.029	11.43	0.15
25	Стронций Sr	254.95	324.93	3.02
26	Цирконий Zr	6.731	19.896	0.32
27	Ниобий Nb	0.195	0.982	0.012
28	Молибден Mo	1.81	5.55	0.106
29	Рутений Ru	0	0.051	0
30	Родий Rh	0.0033	0.0093	0.0004
31	Палладий Pd	0.0457	0	0.0018
32	Серебро Ag	0.0396	0.011	0
33	Кадмий Cd	0.2955	0.45	0.0034
34	Индий In	0.013	0.297	0.0003
35	Олово Sn	0.1391	1.084	0.013
36	Сурьма Sb	0.094	0.092	0
37	Цезий Cs	0.1777	1.094	0.022
38	Барий Ba	466.55	381.26	6.39
39	Иттрий Y	6.33	6.342	0.19
40рзм	Лантан La	11.23	10.28	0.62
41рзм	Церий Ce	24.28	17.38	1.19
42рзм	Празеодим Pr	2.498	2.51	0.125

1	2	3	4	5
43рзм	Неодим Nb	9.303	8.47	0.44
44рзм	Самарий Sm	1.81	1.47	0.082
45 рзм	Европий Eu	0.43	0.44	0.018
46 рзм	Гадолиний Gd	1.78	1.78	0.071
47 рзм	Тербий Tb	0.24	0.23	0.009
48 рзм	Диспрозий Dy	1.27	1.08	0.051
49 рзм	Гольмий Ho	0.22	0.22	0.007
50 рзм	Эрбий Er	0.602	0.65	0.017
51 рзм	Тулий Tm	0.09	0.09	0.002
52 рзм	Иттербий Yb	0.483	0.48	0.015
53рзм	Лютеций Lu	0.066	0.067	0.001
54	Гафний Hf	0.0984	0.31	0.0055
55	Тантал Ta	0.016	0.078	0.0004
56	Вольфрам W	0.447	0.51	0.02
57	Рений Re	0.0019	0	0
58	Осмий Os	0	0	0
59	Иридий Ir	0	0	0
60	Платина Pt	0.001	0	0
61	Золото Au	0	0	0.0006
62	Ртуть Hg	0	0	0
63	Талий Tl	0.02	0	0.0014
64	Свинец Pb	12.68	29.63	0.21
65	Висмут Bi	0.16	0.165	0.004
66	Торий Th	2.28	2.69	0.09
67	Уран U	1.57	1.52	0.07

водов [5-9], реже повреждается при беглом низовом пожаре. Анализ зарастаемости сгоревшего участка на следующий год после пожара показывает, что возобновление растений шло в основном семенами (*Chamaenerion angustifolium*, *Betula pubescens*) и путем заноса спор гипновых мхов (*Polytrichum commune*, *Pleurozium schreberi*). С учетом того, что в исследуемом районе частично уцелели участки лесного массива, на появление молодой березовой поросли, помимо распространения семян, могла повлиять местами сохранившаяся корневая система. Отсутствие конкуренции позволило уже на второй год поселиться большему числу видов растений. Отмечено 5 видов древесных, 5 видов травянистых растений и 2 представителя мохообразных. Степень зарастания была незначительной – от единичных экземпляров (*Alnus glutinosa*, *Pinus sylvestris*, *Populus tremula*, виды *Calamagrostis*) до малочисленных группировок (*Betula pubescens*, *Salix cinerea*, *Eriophorum vaginatum*, *Polytrichum commune*, *Pleurozium schreberi*).

Состав растений, сформировавшийся к 2015 г., с учетом уцелевших на участках лесного массива, представлен в табл. 27. Зарегистрировано 15 видов сосудистых растений, относящихся к 12 родам и 7 семействам, а также 2 вида гипновых мхов.

Таблица 27. Видовой состав растений зоны возобновления «Радовицкий Мох»

Растения	Годы				Обилие по шкале Друде
	2011	2012	2014	2015	
Семейство *Betulaceae* (березовые)					
Alnus glutinosa (L.) – ольха черная	–	+	+	+	Sp.
Betula pubescens Ehrh. – береза пушистая	+	+	+	+	Cop.[1]
Сем. *Cyperaceae* (осоковые)					
Eriophorum vaginatum – пушица влагалищная	–	+	+	+	Soc.
Carex acuta L. – осока острая	–	–	+	+	Sp.
Carex dioica L. – осока двудомная	–	–	+	+	–/–
Сем. *Ericaceae* (вересковые)					
Calluna vulgaris (L) Hull. – вереск обыкновенный	–	–	+	+	Sp.Gr.
Сем. *Gramineae* (злаки)					
Agrostis gigantean Roth. – полевица гигантская	–	–	+	+	Sp.Gr.
Calamagrostis arundinacea (L.) – вейник тростниковидный	–	+	+	+	–/–
Calamagrostis epigeios (L.) Roth. – вейник наземный	–	+	+	+	–/–
Digraphis arundinacea (L.) Trin. – двукисточник тростниковый	–	+	+	+	–/–
Сем. *Onagraceae* (кипрейные)					
Chamaenerion angustifolium (L.) Sc. – Иван-чай узколистный	+	+	+	–	-
Сем. *Pinaceae* (сосновые)					
Pinus sylvestris L. – сосна обыкновенная	–	–	+	+	Sp.
Сем. *Ranunculaceae* (лютиковые)					
Ranunculus flammula L. – лютик жгучий	–	–	+	+	Sol.
Сем. *Salicaceae* (ивовые)					
Populus tremula L. – осина обыкновенная	–	+	+	+	Sp.
Salix cinerea L. – ива пепельная	–	+	+	+	Cop.[1]
Salix triandra L. – ива трехтычинковая	–	+	+	+	Cop.[1]Gr.
Сем. *Polytrichaceae* (политриховые)					
Polytrichum commune Hedv. – политрих обыкновенный	–	+	+	+	Cop.[1]
Сем. *Entodontaceae* (энтодонтовые)					
Pleurozium Schreberi (Brid.) Mitt. – плевроциум Шребера	–	+	+	+	Cop.[1]

Примечание. Баллы обилия по шкале Друде*: Soc.* (*socialis*) – обильно, фон; *Cop.*[3] (*copiosae*) – очень много; *Cop.*[2] – много; *Cop.*[1] – довольно много; *Sp.* (*sparsae*) – мало, вкрапления; *Sol.* (*solitaria*) – единично; *Un.* (*unicum*) – единственный экземпляр; *Gr.*(*gregarius*) – встречается группами (ставится рядом с категорией обилия).

На пробных площадках отмечены: осоки острая и двудомная (*Carex acuta*, *Carex dioica*), лютик жгучий (*Ranunculus flammula*), вейник наземный (*Calamagrostis*

epigeios), вейник тростниковый (*Calamagrostis arundinacea*), полевица гигантская (*Agrostis gigantean*). Обильно разросшийся в первые годы после пожара Иван-чай (*Chamaenerion angustifolium*) постепенно был вытеснен осоко-злаковым разнотравьем, в котором доминировала пушица влагалищная (*Eriophorum vaginatum*).

Древесная поросль, высотой от 0.5 до 2.0 м, представлена ольхой черной (*Alnus glutinosa*), березой пушистой (*Betula pubescens*), сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris*), ивами трехтычинковой (*Salix triandra*) и пепельной. Растительное сообщество, сформировавшееся на месте пожара к 2015 г., можно охарактеризовать как березово-ивово-пушицевое с участием сосны, ольхи и реже осины.

Для восстановления древесных пород на сгоревшем участке большую роль будут играть такие факторы, как песчаные и супесчаные почвы данной местности, а также участки коренного леса, в данном случае сосновые и сосново-березовые леса, часть которых сохранилась.

О возможном характере возобновления древесной растительности сгоревшего участка можно сказать, что вследствие гибели неустойчивых к огню конкурентов выжившие породы деревьев будут осваивать освободившиеся территории. Это уже произошло с березой, так как сложились благоприятные условия для прорастания ее мелких летучих семян. Немного медленнее, но все же успешно пойдет заселение сосны, так как этому будут способствовать легкие песчаные и супесчаные почвы, характерные для этого района, а также благоприятные для подроста этой породы условия в образовавшихся после пожаров прогалинах.

В целом практически все авторы отмечают успешное естественное восстановление сосняков после пожара, а также других хвойных пород через стадию лиственного леса [5-9]. Во время наблюдения на месте бывшей гари среди подроста древесных пород в достаточном количестве отмечены представители семейства ивовых, которые могут сохраниться в пониженных увлажненных местах – на участках травяных болот.

На мониторинговой площадке из золы и пирогенного торфа были отобраны образцы на микробиологический анализ. Специалисты из института Микробиологии РАН сообщили нам, что метанотрофные бактерии в образцах отсутствуют, вероятнее всего они погибли при пожаре. Значит, образующийся в торфе метан свободно может поступать в атмосферу.

Работы по обводнению болот были проведены в 2011-2013 гг. [48]. Были прочищены и углублены до 2-х м мелиоративные каналы. На них были установлены шлюзы с водосливными трубами на расстоянии 0.6 и 1.5 м от поверхности земли. Они позволяют сбрасывать излишки воды в период паводка и в период интенсивных дождей.

Участок под обводнение площадью 1678 га расположен к югу от пос. Радовицкий, на востоке он граничит с озером Негарь, на западе окаймлен узкоколейной железной дорогой Прокша – Радовицкий.

В августе 2016 г. мы посетили участок в 2 км южнее п. Радовицкий, где летом 2010 г. прошли сильные пожары. Сгорели осушенные верховые торфяники и лес (из ели, сосны и березы возрастом около 40 лет), на участке проведено обводнение в 2011-2013 гг.

На межканальном участке, где торф сгорел до основания и где обнажаются подстилающие пески, наблюдается чахлая растительность в виде молодых

берез и осин высотой до 3 м, сосны высотой до 1 м, иван-чая. Здесь заложен шурф, вскрывший зеленый мох мощностью 0.1 м, под ним залегала зола серо-желтой окраски мощностью 0.1 м, глубже – оторфованный песок темно-серый, с глубины 0.3 м – песок серый уплотненный, переходящий в рыжий, ожелезненный, рыхлый песок. На глубине 0.85 м залегает песок плотный, с железистыми конкрециями. Грунтовая вода залегает на глубине более 1.0 м.

Восстановление выгоревших возвышенных межканальных участков будет происходить, по-видимому, очень медленно, на протяжении десятков, а возможно и сотен лет, т.к. здесь не создаются необходимые условия для их возрождения. Известно, что для восстановления торфяного покрова необходима мощность остаточного слоя не менее 0.5 м. При сильных пожарах, какими были пожары 2010 г., торф выгорел на значительных площадях на полную мощность, до подстилающих песков. В после пожарный период занесенные ветром семена болотных растений не могут развиваться в условиях конкуренции с другими более выносливыми и менее требовательными к воде растениями. Через десяток лет выгоревшие или выработанные участки торфа зарастут различной не болотной растительностью. Когда эндемичные растения покроют всю поверхность бывших торфоразработок, ставить вопрос о восстановлении первоначального типа болота (особенно верхового, очень требовательного к воде и ее химическому составу) уже поздно. Укоренение древесных пород и некоторых засухоустойчивых растений ведет к окончательному вытеснению растений, произраставших здесь ранее. Большое значение имеет химический состав воды, используемой для обводнения. Для восстановления верховых сфагнумовых болот вода должна быть со значением pH менее 5 единиц, удельная электропроводность менее 100 С/см, она должна быть ультрапресной с низким содержанием Са, К, органики. Используемая а практике вода для обводнения – это реки, озера или пруды, которые, как правило, не соответствуют этим требованиям. При использовании речных или озерных вод верховые болота превращаются в переходные или низинные, залесенные или безлесные болота. В условиях Канады, в провинциях Квебек и Новый Брунсвик [49] рекомендуется выращивание на отдельном поле болотных растений – сфагнума, мирта, клюквы, которые впоследствии пересаживают вручную на реставрируемом болоте.

Дать оценку выполненным работам по обводнению обследованного нами участка трудно. Требуется проведение наблюдений на мониторинговых площадках в течение не менее 10 лет за установлением гидрологического режима на обводняемых площадях; требуются также наблюдения за восстановлением растительности и животного мира.

В результате пожаров на площадях, где торф сгорел до минерального основания, естественное восстановление болота происходить не будет. После уничтожения торфа, обладающего свойством удерживать влагу, практически не создаются условия для торфонакопления. Наши исследования на болоте Радовицкий Мох показали, что на обнажившихся после пожара песках формируется своеобразная растительность, среди которой болотные виды отсутствуют. Зольный горизонт, образовавшийся после пожара, подвергается ветровой эрозии или сносится дождевыми и талыми водами. Только в случае своевременного искусственного подъема уровня грунтовых вод (т.е. подтопления), возмож-

но создать условия для развития болотной растительности и формирования из нее торфа. В Канаде, например, проводят посадку клюквенных кустов на бывших болотах, подвергшихся пожарам или интенсивному осушению. Для наших условий такая мера восстановления болота невозможна. На площадях болот, где торф выгорел частично на глубину 20–40 см ситуация складывается по-разному. В случае своевременного проведения подтопления или затопления можно сохранить болото. В случае же резкого изменения, прежде всего, гидрологического режима болота и степени нарушенности пирогенного торфа (изменения его фильтрационных параметров, свойств удерживания влаги, т.е. набухания и высокой естественной влажности, создания необходимого режима питания для болотных растений и др.)возможен переход болота в другой тип ландшафта, например, в заболоченный луг, пашню или пастбище. Конечно, для такого перехода потребуется время (порядка 100 лет).

1.8. Болота Национального парка «Мещера» (Владимирская область)

Национальный парк «Мещера» с 2016 г. был объединен с Национальным парком «Мещерский» (Рязанская область), и в настоящее время эта территория общей площадью 224 кв. км представляет собой единый НП «Мещера» с административным центром в г. Гусь- Хрустальный (Владимирская область). НП «Мещерский» с центром в г. Спас-Клепики (Рязанская область) стал рассматриваться как филиал. Основными направлениями деятельности парка являются природоохранная, научная, эколого-просветительская и туристическая. В парке представлены все известные типы торфяных болот – верховые, переходные и низинные. Здесь находились крупные торфоразработки, начиная с 1920-х гг. до 1992 – года основания национальных парков «Мещера» и «Мещерский».

Нами обследовались некоторые из них (рис. 27): Островское, Орловское и Тасинский Бор. Островское месторождение расположено в северо-западной части Парка, представлено верховыми болотами с мощностью торфа до 5 метров. Торф преимущественно моховой, со степенью разложения 5-15%, достаточно рыхлого сложения, с коэффициентом фильтрации 0.19-1.04 м/с. Химический состав торфа представлен в табл. 28.

Торф залегает на флювиогляциальных мелкозернистых песках кварцевого состава, мощностью (по данным геологической съемки масштаба 1:200 000) [50], около 30 м, которые в свою очередь залегают на верхнеюрских глинах. Коэффициент фильтрации песков высокий – 0.5-4.6 м/сутки, в результате чего возникает значительная фильтрация воды под сооружаемыми плотинами или дамбами. На Островском болоте работы по его затоплению против пожаров начались в 2003 г. Было построено 8 плотин с перепадом уровня болотных вод в 4 м между затопленным и естественным болотом. По нашим рассчетам фильтрация воды под одной плотиной (в подстилающих флювиогляциальных песках) составляет около 13.6 куб. м/сут, а под восемью плотинами, построенными в ряд через 50 м, эти потери воды составят около 110 куб.м/сут [51].

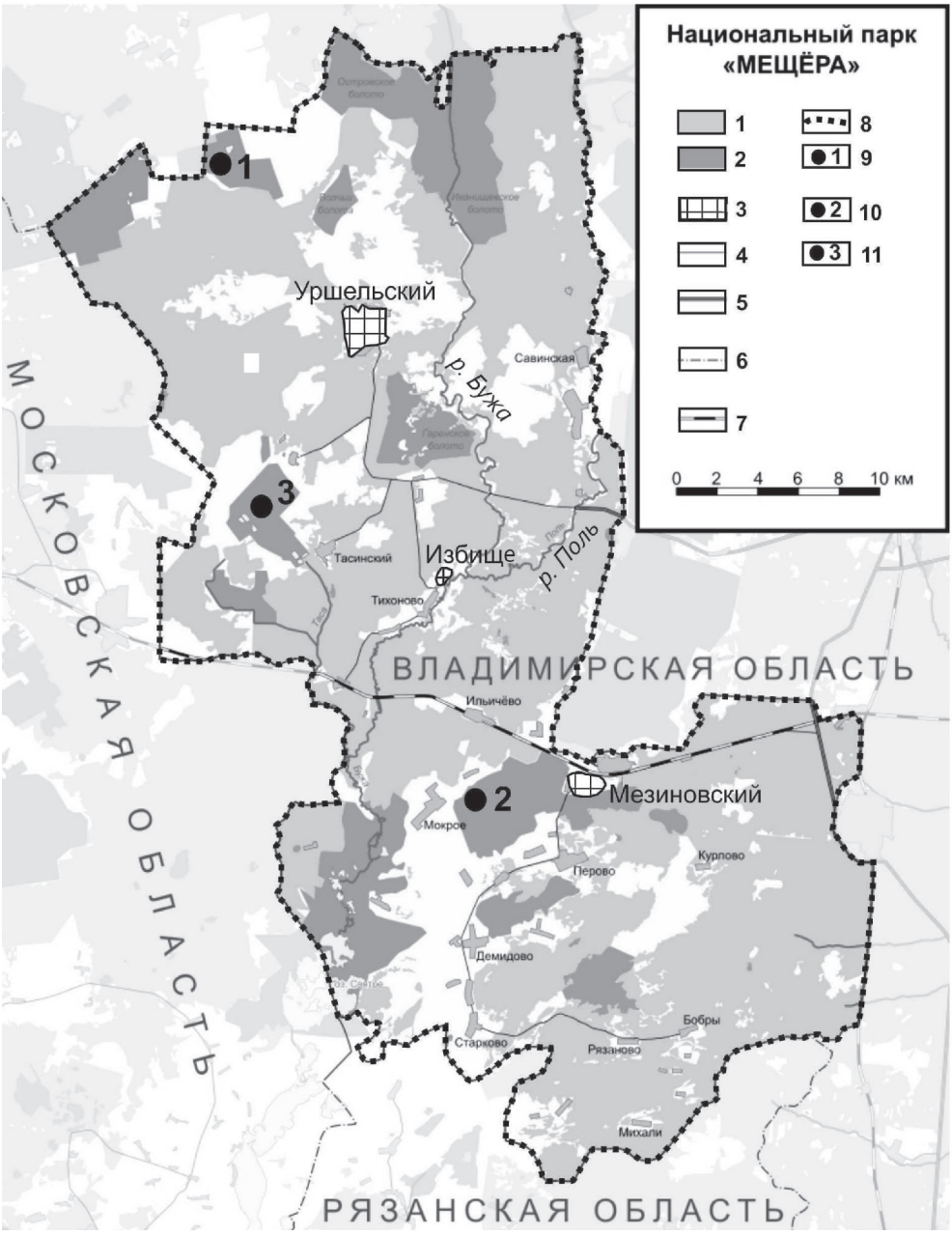

Рис. 27. Карта НП «Мещера» (Владимирская область), http://www.park-meshera.ru/
1 – лес; 2 – болота; 3 – территории поселков (населенные пункты); 4 – дороги; 5 – региональные трассы; 6 – границы федеральных субъектов; 7 – железнодорожная линия Москва-Казань; 8 – границы территории Парка; 9 – скважины на Островском верховом болоте; 10 – скважины на Орловском низинном болоте; 11 – скважины на Тасинборском переходном болоте.

Таблица 28. Химический состав водной вытяжки из торфа верхового болота Островское, сентябрь 2012 г.

Параметр	Номера образцов (глубина отбора проб, м)		
	14 (*h* = 0–0.1)	15 (*h* = 0.15–0.25)	16 (*h* = 0.3–0.4)
A^d, %	32	17.2	5.6
Сухой остаток, %	0.66	0.74	0.45
pH	5	4.4	5
$Fe_{общ.}$ /Fe^{2+}, мг/100 г сухого торфа	11.1/7.9	10.6/8.4	1.98/0.27
$N\text{-}NO_3^-$, мг N/100 г	26.8	4.2	1.6
ПО, мг С/100 г	171	348	30
Кальций обменный, мг/100 г	35.5	24.6	44
Магний обменный, мг/100 г	31.7	17.7	10.1
Сульфат-ионы, мг/100 г	215	230	153
Гидрокарбонат-ионы, мг/100 г	0.05	0.03	0.05

Орловские низинные торфяники, расположенные в нескольких километрах западнее железнодорожного п. Мезиновский, были практически выработаны ко времени создания парка. Их мощность составляла около 2 м, они залегали на песках. В табл. 29 приведен химический состав торфа.

Сохранившиеся мелиоративные каналы на период обследования болота (2012 г.) хорошо дренируют торфяную залежь, благодаря чему месторождение было осушено, и здесь часто происходили пожары. Последние пожары были в 2003, 2007 и 2010 гг. В настоящее время этот участок затоплен, построены плотины, создана благоприятная противопожарная обстановка.

Таблица 29. Химический состав низинного торфа и его водной вытяжки болота Орловское, 2012 г.

Параметр	Номера образцов (глубина отбора проб, м)				
	41 (0–0.1)	42 (0.15–0.4)	43 (0.4–0.6)	44 (0.6–0.9)	45 (1.5)
A^d, %	30.9	6.4	4.5	9.1	12.2
Сухой остаток, %	0.97	1.07	0.76	0.82	2.54
pH	3.9	4.7	4.8	4.9	3.8
Цветность, град. цветности	200	170	170	300	75
$Fe_{общ.}$ /Fe^{2+}, мг/100 г сухого торфа	150/114	154/138	244/238	319/299	66.8/56.8
$N\text{-}NH_4^+$, мг N/100 г	2	3	3	2	0.1
$N\text{-}NO_3^-$, мг N/100 г	76.1	26.8	16.4	2.6	1.8
P_2O_5, мг P/100 г	17.1	4.2	2.3	0.97	1.4
ПО, мг С/100 г	84.2	117.8	70.2	87.5	5.6
Кальций обменный, мг/100 г	31.7	48.7	42.5	54	37
Магний обменный, мг/100 г	19.2	18.8	12.4	15	20.1
Сульфат-ионы, мг/100 г	156	278	222	196	498
Гидрокарбонат-ионы, мг/100 г	0.051	0.077	0.057	0.053	0.025
Хлорид-ионы, мг/100 г	0.008	0.013	0.014	0.008	0.013

Таблица 30. Химический состав водной вытяжки из торфа болота Тасинский Бор, 2012 г.

Параметр	Номера образцов (глубина отбора проб, м)								
	25 (0–0.1)	26 (0.2)	27 (0.4)	28 (0.6)	30 (0.8)	31 (0.9)	32 (1.2)	33 (1.5)	34 (1.8)
A^d, %	22.2	5.04	2.55	2.88	2.0	1.88	5.87	4.53	–
Сухой остаток вытяжки, %	0.46	0.88	1.37	0.69	0.6	0.32	0.33	0.06	0.02
pH	3.7	4.1	3.9	4.6	3.9	4.2	4.5	4.7	5.8
Цветность, град. цветности	230	54.3	600	468	300	226	35.7	21.6	35.0
$N\text{-}NH_4^+$, мг N/100 г	1.3	3.8	1.5	5.7	2.6	1.3	6.1	6.3	7.3
$N\text{-}NO_3^-$, мг N/100 г	6.6	5.8	6.4	5.58	3.6	4.4	3.09	8.4	9.5
P_2O_5, мг P/100 г	2.3	4.2	2.8	1.8	1.3	2.2	3.6	4.5	8.9
ПО, мг C/100 г	55.2	155	236	230	111	78	104	72	2.4
Кальций обменный, мг/100 г	10.8	18	11.8	16.4	14.2	7.8	15.6	21.4	6.2
Магний обменный, мг/100 г	8.6	6.1	8.5	5.6	24.1	9.1	7.4	7	12.6
Сульфат-ионы, мг/100 г	165	157	–	196	155	207	254	276	211
Гидрокарбонат-ионы, мг/100 г	0.07	0.04	0.06	0.04	0.08	0.04	0.02	0.07	0.09
Хлорид-ионы, мг/100 г	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.008	0.005	0.005	0.004

На территории Парка обводнено еще одно верховое болото – Тасинский Бор, расположенное в западной части парка, в 1-2 км западнее п. Тасинский. Это месторождение самое старое на территории Парка. Торфоразработки начались в 1920-е гг. и продолжались до 1990-х. Пробуренная нами опорная скважина глубиной 2.5 м вскрыла разрез сверху вниз:

до глубины

0.15 м торф слабо разложившийся, волокнистый, рыхлого сложения;

с 0.15 м торф становится более плотным, пластичным, средней степени разложения;

на глубине

0.9 м торф плотный, пластичный со слабо различимыми остатками растений;

на глубине

2.3 м залегают пески мелкозернистые, однородные, без гальки.

Уровень болотных вод установился на глубине 0.6 м. Болотная вода имела pH 5.0, Eh +103 мВ. По химическому составу вода гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевая, с несколько повышенным содержанием магния, общая минерализация воды 150 мг/дм^3, определенный нами коэффициент фильтрации торфа с глубины 0.6 м имел значения около 0.7 м/сут. В табл. 30 приводим химический состав торфа.

Осенью 2012 г. на болоте Тасинский Бор (см. Вклейку, рис. 28) было построено 4 плотины со шлюзами и обводной канал длиной 6 км, шириной до 12 м, глубиной около основной плотины до 5 м. Обводнение осуществлено за счет реки Таса. Благодаря проведенным мероприятиям значительно улучшена противопожарная обстановка, происходит восстановление краснокнижных птиц и растений.

Всего в НП «Мещера» в 2003-2016 гг. была обводнена площадь в 8492 га.

В 2013 г. на болоте Тасинский Бор, пострадавшем от пожара 2007 г., была проведена оценка нарушений в функционировании сообществ метанотрофных бактерий, играющих важную роль в контроле эмиссии метана [52]. Потенциальная активность метанокисляющего «фильтра» выгоревших локусов торфяника и численность слагающих его метанотрофных бактерий была существенно редуцирована по сравнению с ненарушенными участками болота. Молекулярный анализ состава метанотрофного сообщества с помощью ПЦР-амплификации и клонирования фрагментов гена *pmoA*, кодирующего мембранную метанмонооксигеназу, выявил замену типичных ацидофильных болотных метанотрофов II типа менее активными в кислых средах метанотрофами I типа. Таким образом, как состав, так и активность метанокисляющего «фильтра», выгоревших участков верхового болота претерпели существенные изменения, четко прослеживаемые и после 7-летнего периода естественного восстановления экосистемы, что указывает на их долговременный характер.

1.8.1. Болота Национальныго парка «Мещерский» (Рязанская область)

На территории НП «Мещерский» (рис. 29) также работали крупные торфопредприятия – Болонь, Солотчинское, Большое и Малое Жабье, Пышлецо, Ненашкино и др. Торф с этих месторождений поступал главным образом на

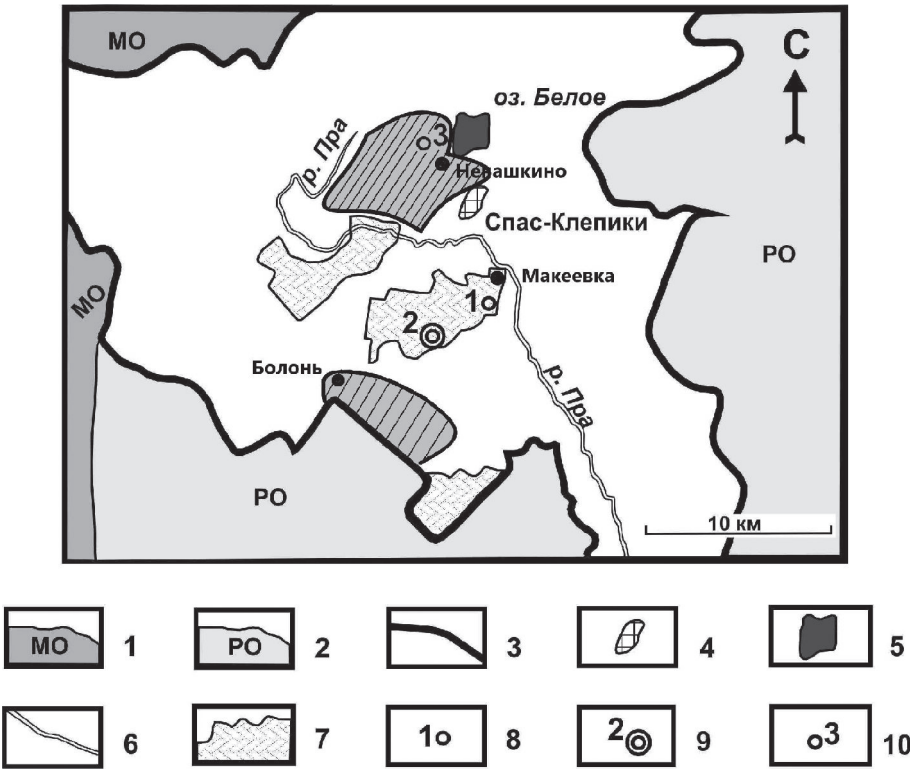

Рис. 29. Карта НП «Мещерский» (Рязанская область), http://www.park-meshera.ru/company/meschersky/

1, 2 – граница Московской (МО) и Рязанской (РО) областей; 3 – границы территории Парка; 4 – населенные пункты; 5 – оз. Белое; 6 – интенсивно используемые торфяные месторождения; 7 – границы осушенных болот; 8 – скважина ручного бурения в долине р. Пра; 9 – скважины ручного бурения на бывшем сгоревшем поле; 10 – Ненашкинское переходное болото.

Шатурскую ГРЭС. Нами изучались только болота у д. Макеевка и д. Ненашкино. У д. Макеевка Спас-Клепиковского района издавна были известны низинные болота, приуроченные к пойме и правой террасе р. Пры, с мощностью торфяной залежи в 1-2 м. В 1970-1980-е гг. эти болота были осушены для их сельскохозяйственного использования. Здесь был прорыт магистральный канал, по которому подавалась вода из р. Пры с помощью построенной на реке насосной станции. Из магистрального канала вода поступала по сети дренажных керамических труб, заложенных на глубину 0.5 м, по всему мелиорированному участку общей площадью в 2000 га. Торф подстилается мелко и среднезернистыми флювиогляциальными песками с редкими линзами сапропелей, общей мощностью около 20 м. Региональным водоупором являются верхнеюрские глины мощностью 7–12 м. На мелиорируемых полях выращивали капусту, картофель, морковь, зелень, сенокосные травы.

Успешное передовое хозяйство просуществовало до 1992 г. В конце 1990-х гг., затем в 2002, 2007 и 2010 гг. осушенные и окультуренные земли, дававшие

еще недавно хорошие урожаи, были уничтожены пожарами. Сейчас эти земли заброшены, они заросли осиной, ольхой, березой высотой 2–3 м, редко встречается сосна высотой до 2-х метров, насосная станция разрушена, дренажные керамические трубы разобраны местными жителями.

Летом 2014 г. авторы книги обследовали эти места. Низинные болота сохранились в пойме р. Пры. Здесь была заложена скважина ручного бурения глубиной 1.6 м до подстилающих песков (скв. 1, рис. 29). Скважина вскрыла:

до глубины 0.15 м	торф, сильно обгоревший с золой черного цвета, (значение зольности 87.9%, значение pH 8.2 единиц, степень насыщенности основаниями 100%, горизонт богат кальцием и магнием);
с 0.15 м и ниже	нижние слои представлены низинным торфом, хорошо разложившимся, с зольностью 26.9–27.2%, с высоким содержанием кальция и магния, с цветностью болотной воды в 105–115 градусов цветности, значение Eh -302 мВ.

Уровень залегания болотных вод 0.6 м.

Ниже приводим химический состав торфа на пойме р. Пры (табл. 31, разрез 1) и на бывшем сельскохозяйственном поле (табл. 31, разрез 2; скв. 2 на рис. 29).

Бывшие осушенные и сгоревшие торфяные поля, используемые под сельскохозяйственные угодья, имели в 2014 г. мощность почвы до 0.3-0.35 м. Они были представлены разнотравным лугом, с глубины около 0.2 м залегал перегной черного цвета со значением зольности в 91.5-94.5 %, pH около 7.1-7.5 ед., относительно высоким содержанием минерального азота и очень высоким содержанием фосфора.

На территории бывшего НП «Мещерский» у д. Ненашкино расположено Ненашкинское месторождение торфа, которое начали разрабатывать с 1952 г. фрезерным способом для Шатурской ГРЭС. Торфоразработки продолжались до 2012 г., площадь выработанных торфяников составляет около 4 кв. км. Окраинная часть торфоразработок заросла лесом из осины, ольхи, березы, высота деревьев составляет 10-12 м. В центральной части торфоразработок сохранились мелиоративные каналы, остатки караванов торфа. Торфа мезотрофные, темнокоричневого цвета, плотные, слоистой структуры, с видимыми остатками травянистой растительности. Мощность торфа около 2-х метров, подстилающие породы представлены мелко и среднезернистыми кварцевыми песками. Уровень залегания болотных вод – около 0.5 м. Авторами книги отобраны образцы торфа с глубин 0.2 (№ 1/9), 0.4 (№ 2/19) и 0.7 (№ 3/19) м для проведения экспериментальных работ по определению органического вещества в торфе новым методом окситермографии.

Предварительно определяли (%) влажность и зольность торфа, которые равны, соответственно: № 1/19 – 52.2 и 1.43; № 2/19 – 49.5 и 8.69; № 3/19 – 40.5 и 0.53. В сухом торфе определяли содержание органического углерода (%): в образце № 1/19 – 50.2 ± 0.3; в образце № 2/19 – 49.3 + 0.3; в образце № 3/19 – 53.7 ± 0.3. Это первые результаты применения метода окситермографии. Работы по дальнейшей разработке методик анализа органического углерода в твердых пробах (грунтах, почвах, растительных образцах и др.) будут продолжены.

После создания НП «Мещера» на территории парка было запрещено проводить добычу торфа. Практически все торфоразработки были закрыты. Ос-

Таблица 31. Химический анализ торфа (Макеевский Мыс), 29 сентября – 2 октября 2014 г.

Показатель		Название и номер пробы, глубина отбора			
		Разрез 1			Разрез 2
		№ 36/14 *h* = 0.15 м, торф с золой	№ 37/14 *h* = 0.35 м, торф низинный, хорошо разложившийся	№ 38/14 *h* = 0.5 м, торф низинный, хорошо разложившийся	№ 39/14 *h* = 0.2 м, перегной
$pH_{водн.}$		8.2	6.8	6.8	7.5
$pH_{солевой}$		8.1	6.6	6.4	7.1
Железо, мг/100 г	Fe^{3+}	0.27	2.6	1.32	5.94
	Fe^{2+}	0.06	5.09	6.81	8.05
	$Fe_{общ.}$	0.33	7.69	8.13	14
NH_4^+ поглощенный, мг N/100 г		1.3	2	9.4	11.5
S, мг-экв/100 г		514.6	199.3	192.4	25.5
H, мг-экв/100 г		0	25.6	29.6	10.7
V, %		100	88.6	86.7	70.4
$P_{кирс.}$, мг P_2O_5/100 г		0.87	5.67	2.89	33.1
A^d, %		87.9	26.9	27.2	91.5
Кальций обменный, мг-экв/100 г		142.8	120.2	112	16.4
Магний обменный, мг-экв/100 г		38.8	25.8	52.1	2.9
Водная вытяжка					
Разведение пробы		1:50	1:50	1:50	1:50
У.э.в., мСм/м		16.5	12	12.1	4
ПО, мг С/100 г		6.3	41.4	75.6	17
Цветность, град. цветности		11	115	105	46
Сухой остаток, %		0.42	0.52	0.82	0.25
$N\text{-}NO_3^-$, мг N/100 г		1.7	2.3	1.1	1.3
SO_4^{2-}, мг/100 г		0	237.8	78.1	15.3
HCO_3^-, %		0.436	0.28	0.218	0.01
Cl^-, %		0.011	0.008	0.007	0.007
Ca^{2+}, растворенный, мг-экв/100 г		6.8	4	4.0	1
Mg^{2+}, растворенный, мг-экв/100 г		1.1	1.8	1.5	1.1

тались действующие торфоразработки за пределами парка – Гусевское и Мезиновское во Владимирской области в Гусь-Хрустальном районе, которые работают с низкой производительностью – несколько тыс. тонн торфа в год для местных нужд.

Однако в последние годы было разрешено проводить торфодобычу на Тасинском месторождении НП «Мещера» и на торфяном болоте у п. Болонь (Спас-Клепиковский район Рязанской области). В настоящее время на территории НП «Мещера» работает несколько небольших частных предприятий по добыче и переработке торфа. Так, на месторождении Болонь с 2010 г. ведет разработки ООО «Питер Пит» (PETER Peat). В 2013 г. добыча торфа составила до 25 тыс. т/год, площадь разработки – более 10 тыс. га. В поселке Болонь открылся завод по приготовлению и фасовке торфогрунта для огородов и теплиц. Завод изготавливает также жидкие гуминовые удобрения, торфяные брикеты для отопления, экоторф для дачных участков и др. Например, выпускают продукцию для сада и огорода «Универсальный торфяной грунт» – сбалансированный комплекс питательных веществ, который:

– обеспечивает активный рост растений и высокий урожай;

– оптимален для развития корневой системы;

– содержит высокое содержание гуминовых веществ.

Его состав: смесь верхового и низинного торфа, мука известняковая, речной песок, перлит, комплексное минеральное удобрение. Массовая доля питательных веществ (мг/л) не менее:

NH_4+NO_3 – 170;

P_2O_5 – 160;

Калий (K_2O) – 270;

$pH_{солевой}$ – ≥ 5.5;

Массовая доля влаги – ≤ 65%.

В п. Тасинский Бор (Владимирская область) также работает в последние годы частное торфопредприятие «Тасин Бор» по добыче и переработке торфа. Используются прежние торфяные поля после фрезерной добычи, закрытые в 1992 г. Предприятие выпускает брикеты для отопления ближних поселков и дачных участков, а также торфогрунт для огородников.

1.8.2. Гидрологические особенности р. Бужа – основной реки Национального парка «Мещера»

По территории НП «Мещера» протекает река Бужа, водосборная площадь которой представлена на 50% торфами, главным образом, верховыми и переходными. Остальная площадь сложена песчано-глинистыми флювиогляциальными породами. Приблизительно в 50 км от истока в д. Избищи расположен Гидрологический пост, открытый в сентябре 1949 г. и действующий до настоящего времени (с некоторыми перерывами в 1990-е годы). Здесь ежедневно проводят измерения уровня воды в реке, ее расхода, ведутся наблюдения за началом ледостава и половодья, толщиной льда; в первое десятилетие исследований определялся химический состав речной воды. Эти наблюдения собраны в издаваемые Гидрологические справочники [53], благодаря которым можно

дать оценку влияния антропогенной нагрузки (главным образом, торфоразработок) на изменение гидрологического и гидрохимического режима р. Бужи.

После проведения мелиоративных осушительных работ на болотах Белоруссии в 1960-1980-е годы появилось много примеров по влиянию осушения болот на сток рек [54, 55]. Причем, эти примеры противоречивые, показывающие в одних случаях увеличение, в других – сокращение стока рек. Казалось бы, что существенное снижение уровня болотных вод при торфоразработках ведет к иссушению верхних слоев торфа и к их неучастию в формировании стока воды в реку. Другой причиной сокращения стока в сторону реки является уменьшение уклона зеркала болотных вод. С другой стороны, следует учитывать, что величина испарения с поверхности болота и транспирация влаги на этих участках сокращаются, а значит количество воды, формирующее подземное питание реки, увеличивается. В зависимости от интенсивности осушения торфяного болота – глубины заложения мелиоративных каналов, расстояния между ними, а также погодных условий (количества выпавших осадков и температурных условий) зависит гидрологический режим реки.

Река Бужа вытекает из озера Исихра, расположенного в 18 км севернее границы НП «Мещера», и течет на юг, впадая в озеро Святое. Ее длина – 92 км, общая водосборная площадь составляет 1520 кв.км. На расстоянии около 50 км от истока в нее впадает левый приток – р. Поль. Водосборная площадь этих 2-х рек до гидрологического поста в д. Избищи в настоящее время составляет 1100 кв. км, она на 50% представлена болотами (верховыми, в меньшей степени – переходными и низинными, слагающими левый берег долины р. Поль), которые разрабатывались до времени создания НП «Мещера» (1992 г.). В настоящее время действуют лишь торфоразработки Гусевского месторождения. В верховье р. Бужа, слева, расположен п. Асехрово, построенный в 1952 г. как центр крупных торфяных разработок, просуществовавших до 1990 г. Пик активности торфопредприятия приходился на 1970-1980-е гг. В 1970-е гг. русло р. Бужи было спрямлено на протяжении 26 км, торфяные карьеры и фрезерные поля располагались на пойме, у самого русла реки. Торф по узкоколейным железным дорогам доставлялся в города Собинка, Владимир и Шатура. Длина узкоколеек достигала 40 км. В п. Асехрово изготавливали торфобрикеты. Площадь торфоразработок достигала 45 кв.км. Это было самое крупное предприятие в верховьях р. Бужи.

Ниже по течению, справа, у деревень Большие и Малые Острова, разрабатывались верховые торфа с 1946 по 1990 гг. Мощность торфяной залежи здесь составляла до 4 м, площадь торфоразработок – 20 кв.км. Несколько десятков км южнее, на левом берегу р. Поль, близь д. Иванищи, располагаются земли бывших торфопредприятий Иванищинское и Панфиловское, работавших с 1946 по 1992 гг. Площадь разработок составляла около 45 кв.км. К югу от них на левом берегу р. Поль расположено Гусевское торфопредприятие, открытое в 1920 г. и функционирующее до наших дней (с перерывом в 1990-е гг.). Это крупное торфопредприятие занимает территорию в 117 кв.км за пределами НП «Мещера», и, в связи с этим, оно продолжает работать.

Площади бывших торфоразработок, представляют собой в настоящее время заброшенные карьеры глубиной до 3-х метров, заполненные водой, заброшен-

ные поля с дренажными канавами после фрезерной добычи торфа, поваленный сгоревший лес, оставшийся после пожаров 2010 г. По-видимому, такие торфоразработки не могут не оказывать влияния на сток в р. Поль (левый приток р. Бужа) и на саму р. Бужа.

Крупные торфопредприятия на территории Национального парка Тасин Бор и Пустоша, работавшие в период с 1920 по 1990 гг., расположены в долине р. Таса, которая впадает в р. Бужа ниже д. Избище, и, значит, не оказывают влияния на формирование стока реки, измеряемого в деревне.

Рассмотрим вопрос о том, как влияют погодные условия летнего периода (дождливые, средней водности и засушливые летние месяцы в сочетании с температурным режимом этого периода) на гидрологический режим реки (табл. 32). Нами были использованы данные метеостанции в п. Черусти за период 1959-1988 гг., когда в долинах рек Бужа и Поль интенсивно проводились торфоразработки.

Согласно метеоданным, среднегодовая температура воздух составляет 3.6 ºС. Средняя температура января -18.3 ºС, теплый (безморозный) период длится условно 180 дней. Среднегодовое количество осадков составляет 644 мм, в теплый период выпадает от 190 мм (1972 г.) и 247 мм (2010 г.) до 620 мм (1962 г., самый дождливый год) за рассматриваемый период.

Ниже представлены гидрографы р. Бужи за годы с различным количеством осадков и различным дефицитом увлажнения (разностью между испаряемостью и осадками за теплый период года). Антропогенная нагрузка на водосборную площадь реки с 1959 до 1990 гг. была примерно одинакова – все вышеописанные торфоразработки работали в этот период. Итак, нами рассматриваются гидрографы в засушливые годы – 1968, 1972, 1975 и 1988 гг., далее – гидрографы в годы средней водности 1978 г. и 1982 г. и в очень влажные годы 1962 и 1987 гг.

Сделана попытка определить влияние торфоразработок и периодически происходящих торфяных пожаров на гидрологический режим р. Бужа. В связи с этим нами были выбраны годы наблюдений до создания НП «Мещера» (1962–1990 гг.), т.к. в национальных парках после 1992 г. (года создания Национального парка) торфоразработки были прекращены.

Проведено сравнение расходов р. Бужи с расходами за те же годы р. Судогда [53]. В нашем распоряжении имеются данные по р. Судогда лишь с 1964 г. (года начала режимных наблюдений) по 1988 г. Более поздние нерегулярные наблюдения нами не использовались в связи с тем, что близ водомерного поста в г. Судогда с 2000 г. стали проводиться разведочные буровые работы для строительства водозаборных сооружений для водоснабжения городов Владимира и Суздаля. Сооружения вошли в строй в 2005 г., но они нарушили естественный гидрологический режим реки. Река Судогда протекает в 30 км восточнее р. Бужи. Ее длина 116 км, водосборная площадь составляет 1900 кв.км. Долина сложена, главным образом, аллювиальными и флювиогляциальными песчано-глинистыми породами, торфа занимают 1–2% водосборной площади.

Графики представлены на рис. 30-42.

Таблица 32. Метеорологические данные по метеостанции Черусти [56]

№ п/п	Год	Осадки, мм		Испаряемость, мм		Дефицит увлажнения, мм		Оценка года
		за год	за теплый период	за год	за теплый период	за год	за теплый период	
1	1962	906	620	443	379	-463	-241	Самый влажный, 99%
2	1963	573	288	550	506	-23	218	Сухой, 10%
3	1964	500	283	491	442	-9	159	
4	1965	656	417	440	386	-217	-31	
5	1966	679	279	520	467	-159	188	Средний сухой, 25%
6	1967	538	275	510	464	-28	190	
7	1968	613	328	505	444	-109	116	Средний, 50%
8	1969	454	270	441	392	-13	122	
9	1970	637	338	442	385	-195	47	
10	1971	626	376	455	406	-171	30	
11	1972	478	190	693	624	214	434	Самый сухой, 1%
12	1973	595	293	486	414	-109	121	
13	1974	673	355	472	412	-201	57	
14	1975	520	268	633	540	113	272	Сухой
15	1976	561	354	432	366	-128	12	
16	1977	528	331	537	475	9	145	
17	1978	648	416	420	360	-227	-56	
18	1979	590	336	529	469	-62	133	Средней водности
19	1980	632	430	408	355	-224	-75	
20	1981	553	329	588	525	35	196	
21	1982	533	288	457	396	-76	108	Сухой
22	1983	595	323	497	421	-98	98	
23	1984	527	377	514	444	-13	67	
24	1985	585	365	418	378	-168	13	
25	1986	660	426	475	427	-185	1	
26	1987	546	428	390	337	-157	-92	
27	1988	384	271	537	469	154	198	Сухой
28	1989	544	336	470	411	-73	75	
29	1990	782	558	403	339	-379	-220	
30	1991	405	288	520	449	115	161	
31	1992	432	241	485	440	53	199	
32	1993	546	317	4190	354	-127	37	
33	1994	514	330	448	400	-67	69	
34	1995	521	251	568	513	47	262	Сухой летний период
35	1996	477	283	490	422	13	140	Сухой
36	1997	592	376	504	418	-88	41	
37	1998	714	442	560	489	-154	47	
38	1999	616	282	569	497	-47	214	Засушливый
39	2000	747	489	488	422	-259	-67	Влажный, 90%
40	2001	590	286	563	473	-27	187	Средний
41	2002	664	335	622	532	-42	197	Средний
42	2003	672	401	491	426	-181	25	Средний
43	2004	689	432	476	398	-213	-35	Влажный
44	2005	608	300	492	49	-116	118	
45	2006	696	382	468	407	-228	25	Влажный, 75%
46	2007	634	349	549	476	-84	127	
47	2008	776	468	430	358	-346	-110	Влажный
48	2009	508	292	511	436	3	143	Сухой
49	2010	543	247	646	572	103	325	Сухой, жаркий
Среднее		593	345	501	438	-92	93	

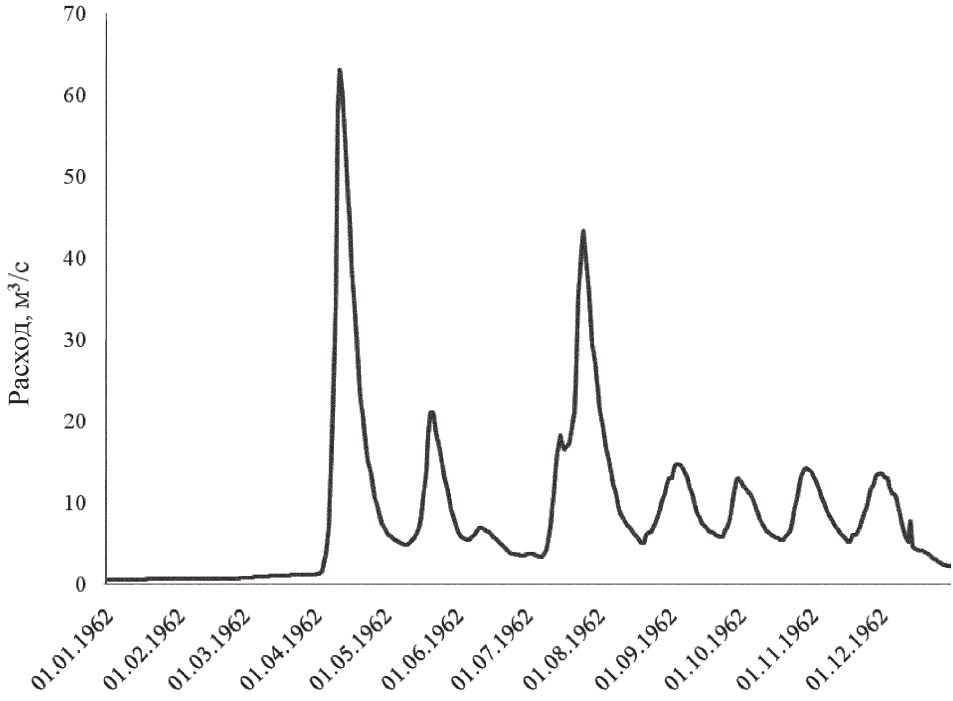

Рис. 30. Гидрограф р. Бужа, 1962 г.

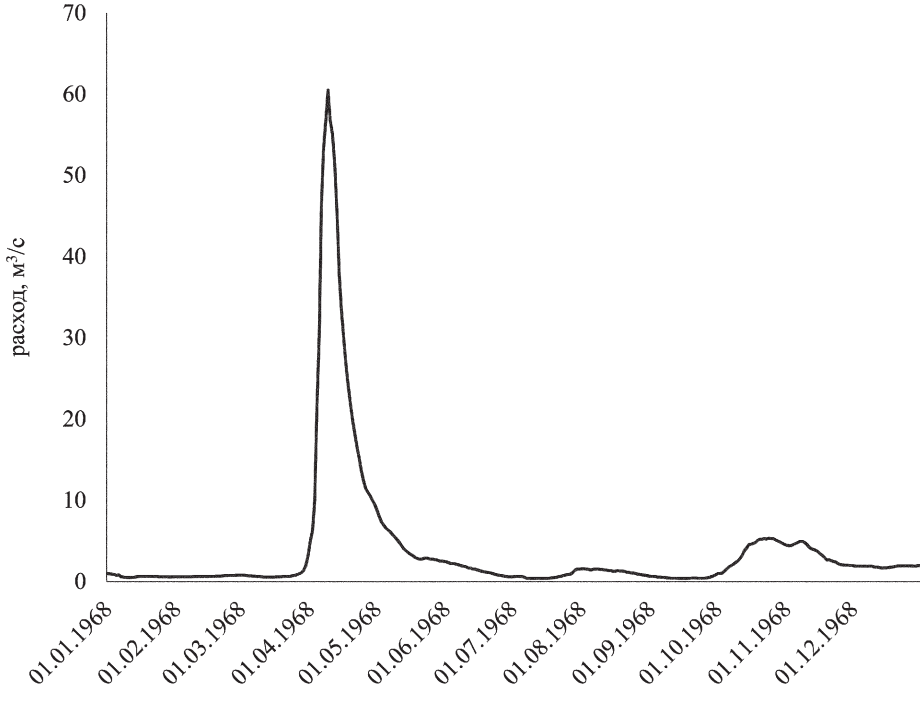

Рис. 31. Гидрограф р. Бужа, 1968 г.

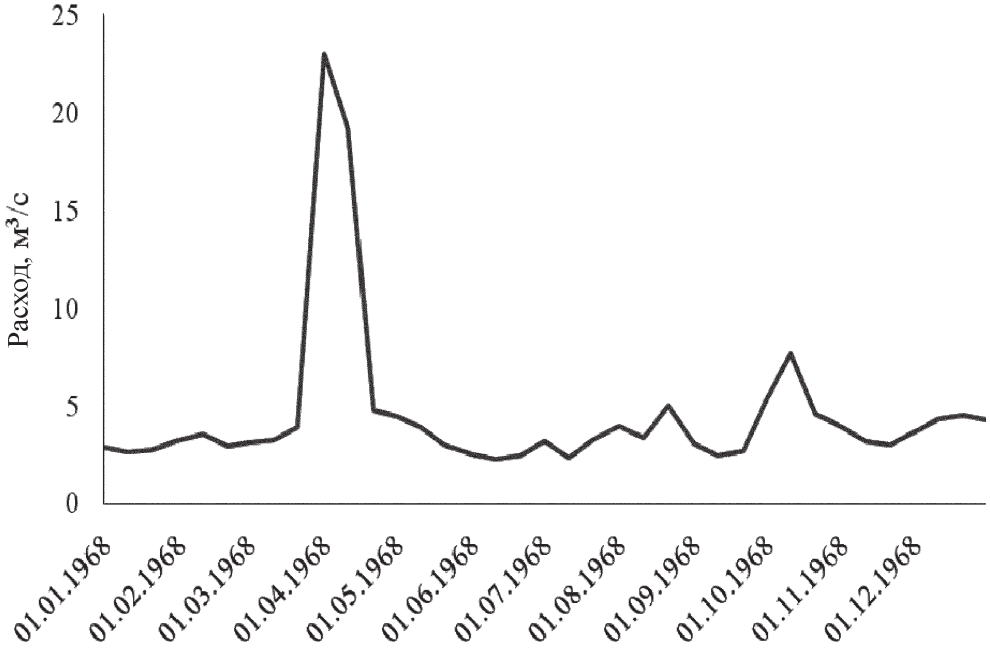

Рис. 32. Гидрограф р. Судогда, 1968 г.

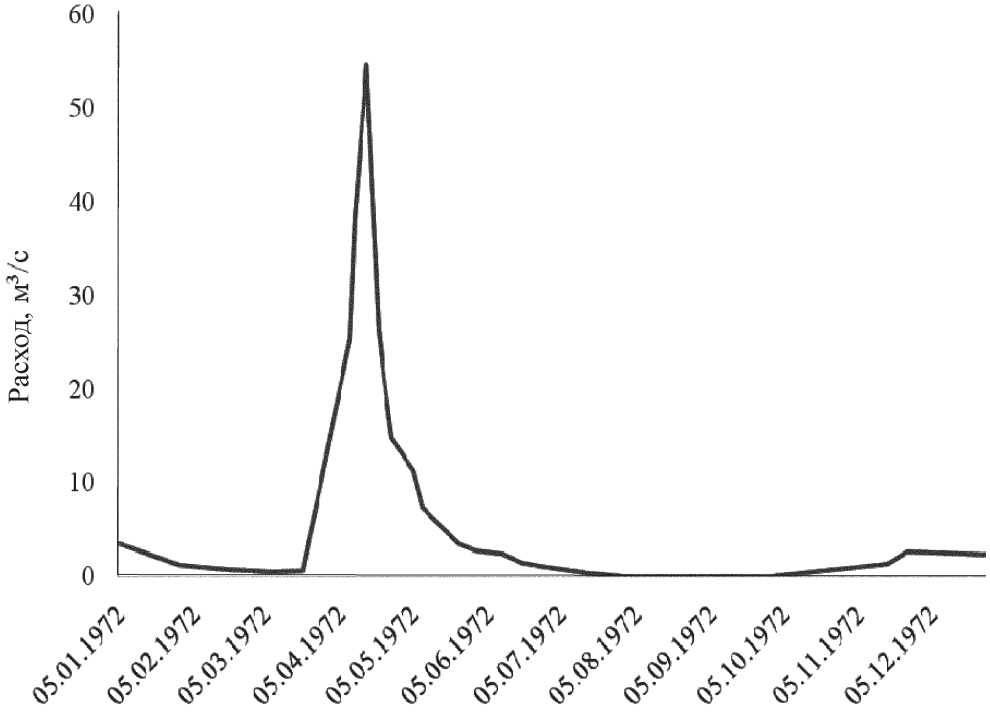

Рис. 33. Гидрограф р. Бужа, 1972 г.

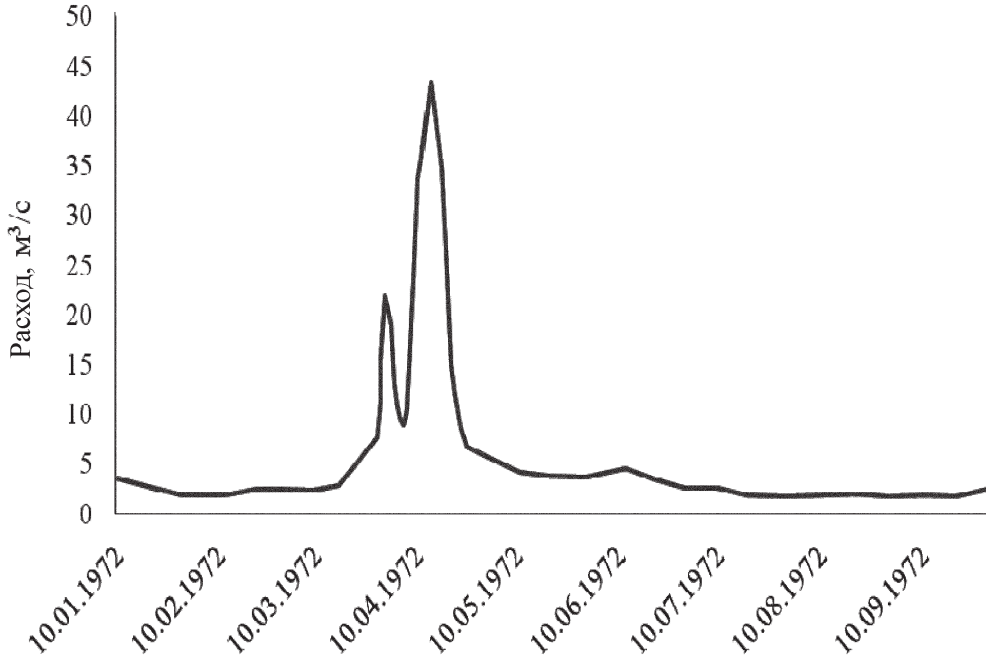

Рис. 34. Гидрограф р. Судогда, 1972 г.

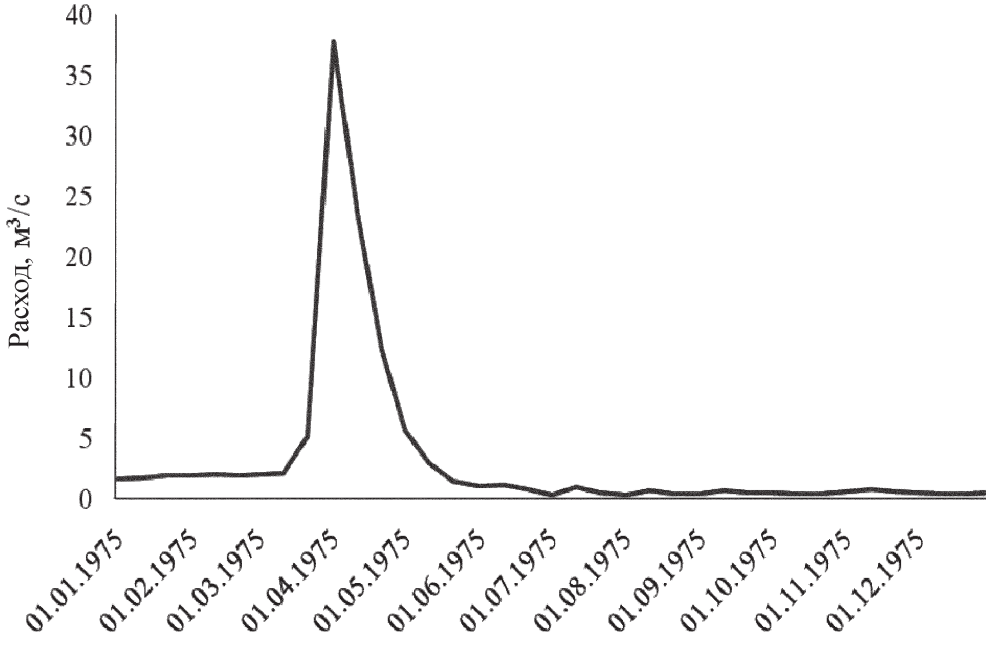

Рис. 35. Гидрограф р. Бужа, 1975 г.

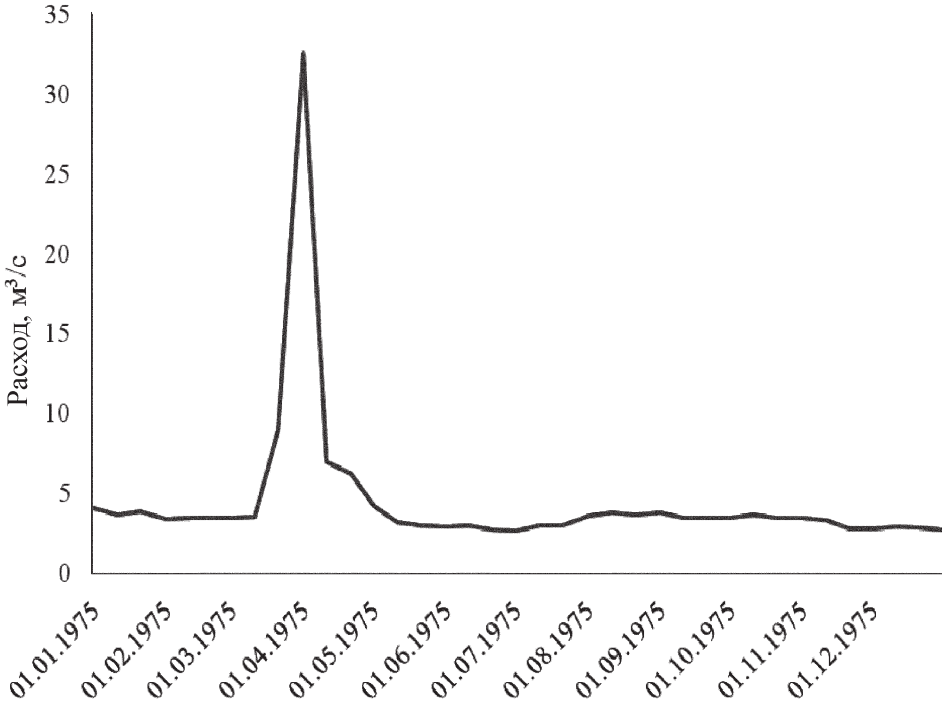

Рис. 36. Гидрограф р. Судогда, 1975 г.

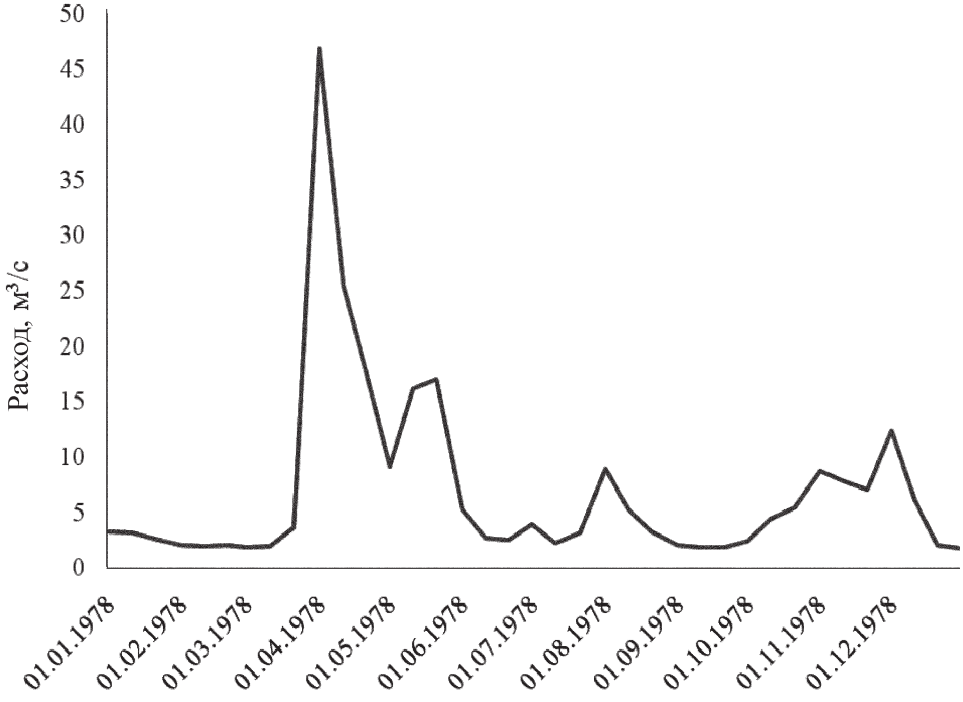

Рис. 37. Гидрограф р. Бужа, 1978 г.

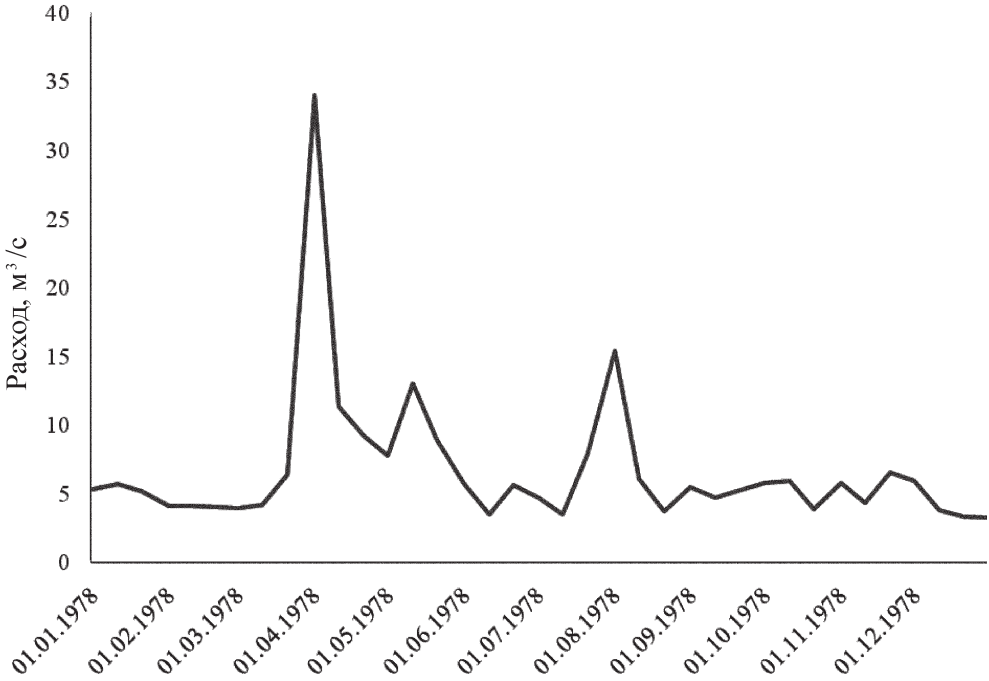

Рис. 38. Гидрограф р. Судогда, 1978 г.

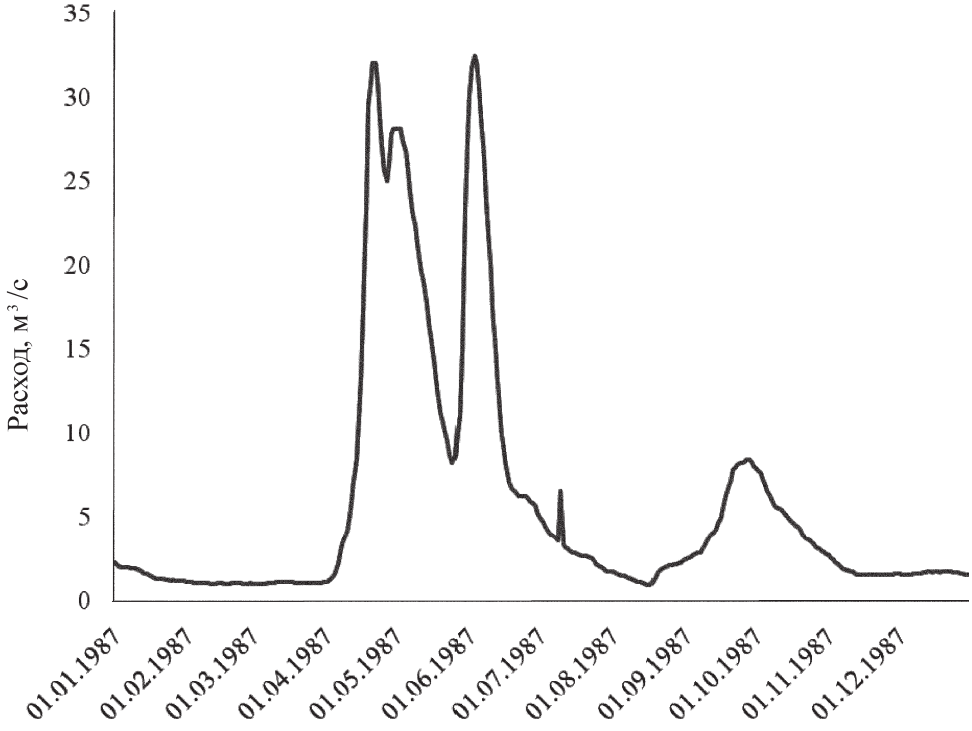

Рис. 39. Гидрограф р. Бужа, 1987 г.

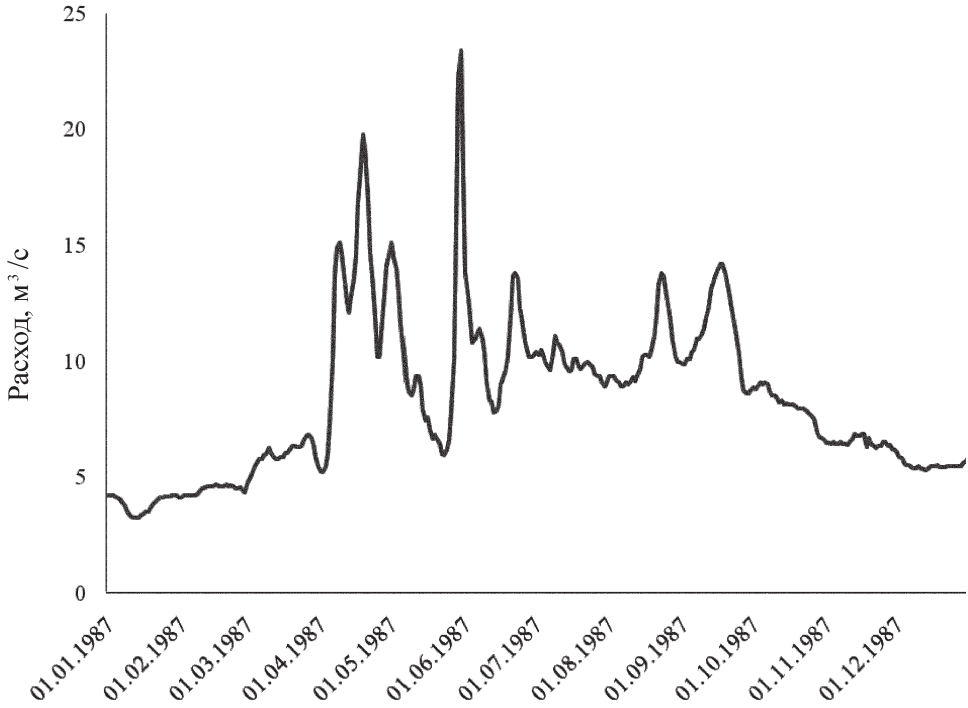

Рис. 40. Гидрограф р. Судогда, 1987 г.

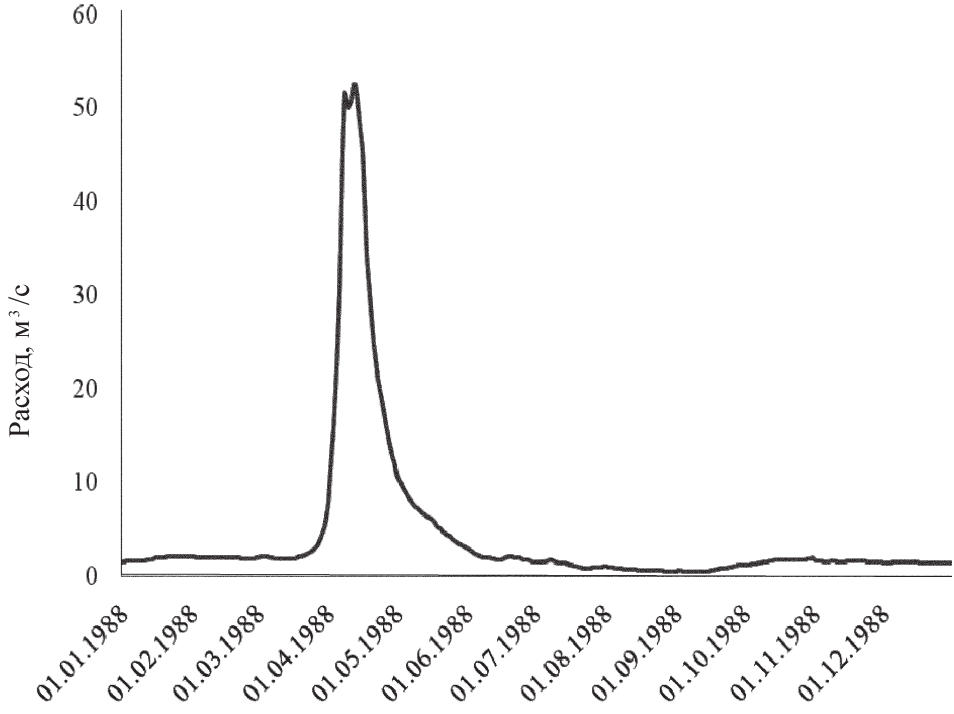

Рис. 41. Гидрограф р. Бужа, 1988 г.

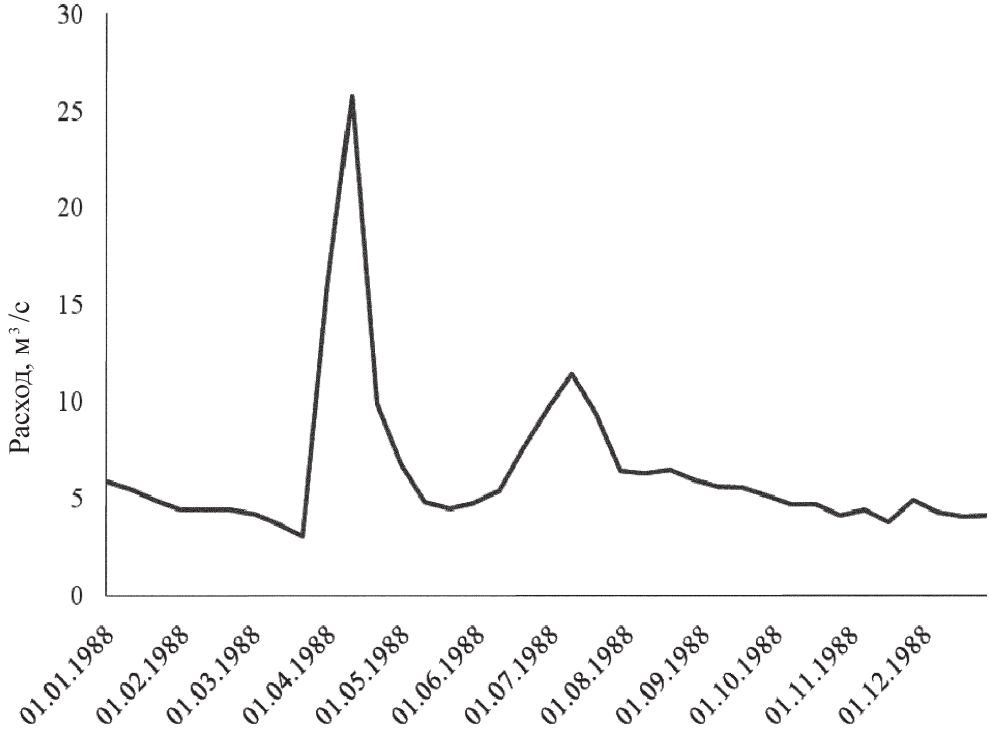

Рис. 42. Гидрограф р. Судогда, 1988 г.

Согласно гидрологическому графику в жаркие засушливые годы 1968, 1972, 1975 и 1988 гг. в летнюю межень расход р. Бужа сокращался до нуля и лишь в октябре-ноябре он увеличивался до 5 куб.м/сек.

В годы средней водности (1978 и 1982) расход реки в период летней межени составляет 2-10 куб.м/сек.

Проведено сравнение гидрологических графиков по двум рекам (Бужа и Судогда), имеющим схожие параметры – длина рек, водосборная площадь, расположение в одной и той же климатической зоне, т.е. количество осадков и температурный режим долин одинаков. Отличие только в том, что в долине р. Бужа водосборная площадь на 30% представлена антропогенно нарушенными торфяниками, а в долине р. Судогда торфяников практически нет. Расхождения в гидрографах этих рек заключается в следующем:

1. Весенние паводковые расходы р. Бужа до 45-60 куб.м/с, и происходят они в начале апреля. На р. Судогда весенний расход реки всегда меньше, он составляет 22-45 куб.м/с, происходит на 5-10 дней раньше, чем на р. Бужа.

2. В период летней межени на р. Бужа расходы снижаются до нуля – 2 куб.м/с (1972, 1975, 1988 и 2010 гг.), а на р. Судогда никогда не бывает такой «низкой воды», наименьшие летние расходы составляют 4-5 куб.м/с.

3. Временами в жаркие летние месяцы на р. Бужа образуется минимальный экологический сток, при котором происходит частичное вымирание эхтиофауны.

4. Торфоразработки в долине р. Бужа сильно влияют на химический состав речной воды. Химический состав естественных болотных ручьев и мелких речек в НП «Мещера» несколько другой. Они имеют меньшую общую минерализацию, меньшее содержание органических веществ, неорганических азотных соединений, в них меньше веществ, связанных с антропогенной нагрузкой – бензина и керосина.

5. Вода р. Судогды – одна из самых чистых во Владимирской области, она бесцветная, содержит минимальное количество органических веществ (ПО < 5 мг О/дм^3), ее минерализация ~100 мг/дм^3. На гидрологический и гидрохимический режим рек влияет подземный сток, который разнится для болотной реки Бужа и равнинной реки Судогда. У реки Судогда подземный сток составляет 2-5 куб.м\с; разгрузка подземных вод происходит в виде рассредоточенных, а иногда сосредоточенных восходящих ключей с дебитом до 1 л\сек.

Среди ключей необходимо отметить удивительный «судогодский гейзер», находящийся в долине речки Передел (впадающей в р. Судогда) в 2-х км от г. Судогда. Выход родника приурочен к заболоченному низинному участку. Он представляет собой три струи, направленные вверх, высотой около 3-х м. Местные жители рассказывают, что лет 30 тому назад высота «гейзера» составляла 5 м. Суммарный дебит родника, замеренный одним из авторов монографии зимой 2017 г., составлял 0.5 л/сек. Зимой родник не замерзает, он обрастает льдом и сверкает на солнце как хрусталь с голубоватым оттенком. Вода поступает из напорного водоносного горизонта, приуроченного к трещиноватым известнякам карбона (см. Вклейку, рис. 43). Вода прозрачная, бесцветная, без запаха, с общей жесткостью 1.54 мг-экв/дм^3, слабоминерализованная (0.114 г/дм^3, pH 7.21), пригодная для питья, по химическому составу вода гидрокарбонатная, магниево-кальциевая, содержание металлов ниже ПДК.

Вода в р. Бужа имеет специфический химический состав (табл. 33).

В настоящее время вода в р. Бужа как и прежде коричневого цвета, болотно-торфянистая, мутная. Ее прозрачность 11–20 см по диску Секки, однако низкая прозрачность этой воды вызвана природными факторами – наличием гуминовых веществ, а не антропогенными: на берегах р. Бужи нет предприятий и поселений. Вода имеет высокое значение цветности (270 º), повышенный привкус (5 баллов, вместо 2 – ПДК), запах на уровне ПДК (2 балла). Температура воды в летний период около 20 °С, содержание кислорода 5.47 мг/дм^3, иногда до 4.0 мг/дм^3, при которых образуются заморы для рыбы, pH воды 6.94 – вода мягкая, содержание Ca + Mg – 14.3 мг/дм^3, содержание Fe общего стало повышенное – 6.8 мг/дм^3, NO_3^- – 1.4 мг/дм^3, NH_4^+ – 0.16 мг/дм^3, Cl^- – 4.8 мг/дм^3, SO_4^{2-} – 45 мг/дм^3, ПО – 71 мг О/дм^3, общая минерализация – 68 мг/дм^3. Содержание в воде других ионов (мг/дм^3) (показания выше ПДК выделены жирным шрифтом): алюминия – 0.141; марганца – **0.21**; кадмия < 0.0001; меди < 0.001; мышьяка < 0.005; ртути < 0.0001; свинца < 0.001; натрия – 0.32; калия – 5.4; никеля < 0.001; селена < 0.002; молибдена < 0.001; нитритов < 0.02; гидрокарбонатов – 43 (практически изменений нет); сульфатов – 45 (по сравнению с 1962 г. несколько повышено); хлоридов – 4.8; фторидов – 0.17; а также сероводарода < 0.002 и нефтепродуктов < 0.005. В целом можно считать, что вода в р. Бужа умеренно загрязненная, мало пригодна для питья без обработки, например, без

Таблица 33. Сравнение химических показателей воды р. Бужа

Параметр	2020 г. июль	1964 г. июнь–июль	1963 г. июль	1962 г. август	ПДК: рыбохозяйственные водоемы
Температура, °С	~20	20.6–20.3	21	–	–
Взвешенные вещества, мг/дм^3	от 5 до 27	160–300	160–300	~40–120	10 (для морей или их отдельных частей)
M_z, мг/дм^3	68 ультрапресная	60.15–70.51 ультрапресная	34.3 ультрапресная	91.5 ультрапресная	200–500
pH	6.94	7.6–6.4	6.2	<6	6.5–8.5
O_2, мг/дм^3	4–5.47	5.15	–	–	6 мг/л (для ценных пород рыбы) либо 4 мг/л (для остальных пород)
Жесткость-мягкость воды	Вода мягкая	мягкая	мягка	мягкая	–
Сумма Ca + Mg, мг/дм^3	14.3	8.2–10.6	7.4	17.7	200 Ca 100 Mg
Железо общее, мг/дм^3	6.8	3.84–4	5.4	4.43	0.1
Нитрат-ионы, мг/дм^3	1.4	0.75–1.05	0.12	0.05	45
Хлорид-ионы, мг/дм^3	4.8	3.9–7.8	3.1	7.9	300
Сульфат-ионы, мг/дм^3	45	отс.	отс.	10.8	100
ПО, мг О/дм^3	71	57.9-38.0	64.9	60.9	35
Ионы аммония, мг/дм^3	0.16	–	–	–	0.5
Нитрит-ионы, мг/дм^3	<0.02	0.003	0.003	0.002	0.08

Примечание. «–» – нет данных; «отс.» – показатель отсутствует.

кипячения, но рыба в реке водится (щука, окунь, ерш, ротан, колюшка, верховка, голавль, елец, карась, язь, вьюн и красноперка). Чтобы проследить, как изменялось качество воды в реке за последние 60 лет, следует обратиться к данным Гидрологических ежегодников.

Из Гидрологического ежегодника 1962 г., т. 4, отбор проб 5 марта и 24 августа: расход воды 0.87 и 6.84 $м^3$/сек соответственно; прозрачность воды по стандартному шрифту – 18 и 14 см (вода мутная); pH 6.25 и < 6.0; содержание ионов (мг/$дм^3$): сумма ионов 88.6 и 78.0 (категория воды по минерализации – ультрапресная), содержание кальция – 12.5, магния – 5.2, натрия и калия – 4.5, бикарбонатов – 47.6, сульфатов –10.8, хлоридов 7.9, нитратов 0.05, нитритов 0.002; и для 24 августа сумма ионов – 78.0: кальция – 9.9, магния – 3.5, натрия и калия – 6.6, бикарбонатов – 47.0, сульфатов – 3.9, хлоридов – 6.8, нитратов – 0.23, нитритов – 0.033. Фосфаты составляют 0.066 и 0.094 мг P/$дм^3$; кремний – 12.0 и 9.0 мг Si/$дм^3$; железо общее – 5.19 и 4.43 мг Fe/$дм^3$; жесткость общая (немецкий градус) – 3.72 и 2.86; жесткость постоянная (немецкий градус) – 2.86 и 1.71 (по жесткости вода мягкая); цветность (градус платино-кобальтовой шкалы) – 468° и 299° (очень высокая); окисляемость (мг O/$дм^3$): ПО – 46.2 и 60.9 – повышенная и ХПК – 95.2 и 124.1 – очень грязная.

Нормы ПО: воды равнинных рек, как правило, имеют окисляемость 5–12 мг O/$дм^3$, рек с болотным питанием – десятки миллиграммов на $дм^3$. Подземные воды имеют в среднем окисляемость на уровне от сотых до десятых долей миллиграмма O/$дм^3$. ПДК питьевой воды по перманганатной окисляемости, согласно СанПиН 2.1.4.1175-02 «Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников», составляет 5.0–7.0 мг O/$дм^3$.

Для бихроматной окисляемости (ХПК), в соответствии с требованиями к составу и свойствам воды водоемов у пунктов питьевого водопользования, величина ХПК не должна превышать 15 мг O/$дм^3$; в зонах рекреации в водных объектах допускается величина ХПК до 30 мг O/$дм^3$.

Окисляемость подвержена закономерным сезонным колебаниям. Их характер определяется, с одной стороны, гидрологическим режимом и зависящим от него поступлением органических веществ с водосбора, с другой – гидробиологическим режимом.

Однако надо учитывать, что с точки зрения влияния на состояние человека, при высокой перманганатной окисляемости наиболее опасны крупные органические соединения антропогенного, искусственного, происхождения, которые на 90% являются канцерогенами или мутагенами. Опасны хлорорганические соединения, образующиеся при кипячении хлорированной воды, т.к. они являются сильными канцерогенами, мутагенами и токсинами. Остальные 10% крупной органики в лучшем случае нейтральны в отношении организма. Полезных для человека крупных органических соединений, растворенныхв воде, всего 2–3% (это ферменты, необходимые в очень малых дозах).

Глава 2. Возможность использования болотных вод для питья в экстремальных условиях

Болотные воды, широко распространенные на изучаемой территории, можно рассматривать как резерв чистых пресных вод, пригодных для питья, полива, тушения пожаров и в других хозяйственных целях.

В настоящее время болотные воды используются очень мало, т.к. в центральных районах России имеется достаточное количество поверхностных и подземных вод хорошего качества, пригодных для питья. Болотные воды имеют некоторые специфические особенности, снижающие их качество – высокая цветность, высокое содержание органического вещества, иногда железа, верховые болота имеют повышенную кислотность (которую можно почувствовать на вкус), часто болотная вода имеет запах сероводорода. Однако по химическому составу эти воды слабо минерализованные (с общей минерализацией до 300 мг/дм^3), гидрокарбонатные, иногда гидрокарбонатно-сульфатные, кальциево-магниевые. Они никогда не содержат значительные количества нитратов, аммония, фосфора или металлов, т.к. торфа обладают высокими сорбционными свойствами по отношению к большинству загрязняющих веществ. Химический состав болотных вод различных типов обследованных торфяников приведен в таблицах 3, 8, 11, 20 и 21.

После торфяных пожаров, которые случаются довольно часто в последние годы, химический состав болотных вод изменяется – например на болоте Радовицкий Мох pH повысился до 8-8.2 (ПДК для питьевых вод 6.9-8), содержание сульфатов до 500 мг/дм^3 (ПДК – до 500 мг/дм^3), содержание общего железа может возрасти до 10–13 мг/дм^3 (ПДК – 0.3 мг/дм^3), увеличивается жесткость до 12-14 мг-экв/дм^3 и общая минерализация до 1500 мг/дм^3. Эти изменения приводят к сокращению разнообразия биоты на болотах, к вымиранию некоторых редких видов животных и растений [45].

Большой интерес представляют болотные родники, или как их называют ключи, дающие начало многим рекам Европейской части России. Река Волга берет начало из болотного ключа, расположенного на верховом болоте близ деревни Волговерховье Тверской области, на Валдайской возвышенности. Абсолютная отметка истока – 338 м. Вода родника чистая, прозрачная, холодная, мало минерализованная. На болоте, в месте выхода родника, построен водосборный колодец, над ним возвышается часовня. В нескольких метрах от колодца появляется фонтан воды (Кипун) диаметром около 1 м и высотой в 10 см. Вниз по долине ручья Волга почти на каждом шагу встречаются новые родники. В 2-х км от истока река течет по лесным озерам – Малой и Большой Верхиты, затем впадает в оз. Стерж. С геологической точки зрения родник вытекает из болота, но через несколько десятком метров получает подпитку под-

земных вод известняков верхнего девона фаменского яруса, которые залегают на глубине около 10 м под валдайской мореной и торфом [57].

В 30 км к югу от истоков р. Волги из верхового болота на главном водоразделе Валдайской возвышенности, на абсолютной высоте 220 м вытекает р. Западная Двина. Коренные породы здесь представлены карстующимися известняками нижнего карбона визейского яруса [57].

Малые реки описываемых территорий, как правило, берут свое начало из болот. Это реки Орша, Созь, Сучок, Дойбица, Инюха в Тверской области; реки Москва, Яуза, Киржач и др. в Московской области; реки Бужа, Поль, Вожа и другие во Владимирской области.

Большой интерес представляют «мытищинские ключи», которые использовались в XIX в. для водоснабжения г. Москвы, а в настоящее время – для частичного водоснабжения г. Мытищи. Ключи расположены на низинном болоте, в 2–3 км восточнее г. Мытищи. В 1780-е гг. по приказу Екатерины II ключи были разведаны, вода признана пригодной для водоснабжения города. 43 ключа были каптированы в один бассейн площадью 52 кв. сажени (37.4 кв.м), от которого был построен самотечный водопровод длиной около 19 км. На главных площадях г. Москвы (Театральной, Трубной, Сухаревской и др.) были построены водоразборные фонтаны, откуда воду развозили по всему городу. В 1832 г. над главным ключом (Громовым) была построена часовня, разрушенная в 1925 г. [40]. Ключи приурочены к низинному болоту с мощностью торфа до 4.1 м. В 1872 г. близ Мытищинских ключей начались торфоразработки, которые действовали до 60-х годов прошлого столетия. Под торфом залегают маломощные юрские глины, а под ними – известняки карбона, содержащие чистую воду, пригодную для питья. В результате бурения многочисленных скважин на воду и проведения мелиоративных работ на торфоразработках уровень подземных вод, и, в частности, болотных вод, понизился [58]. Многие родники иссякли, но некоторые остались до настоящего времени под завалами и мусором. Ближайшей задачей руководства НП «Лосиный остров» является восстановление этого уникального места.

Здесь, в нескольких км восточнее, находится родниковый исток р. Яузы. Ее расход за последние 100 лет сократился вдвое. Химический состав воды из верховьев реки приведен в табл. 20 (глава 1.6).

Наибольший интерес представляют озера с чистой пресной водой, имеющие карстовое происхождение, распространенные на болотах или рядом с ними. Они часто встречаются в болотах Мещеры. Благодаря особому геологическому строению Мещерской низменности, наличию гидрогеологических «окон» в перекрывающих водообильные известняки карбона юрских глинах, образовывались глубокие (до 52 м) воронкообразные озера [59]. До недавнего времени местные жители использовали озерную воду для питья без предварительной очистки. Среди озер такого типа следует отметить следующие: озеро Белое (у д. Белое) [60], Селезневское (у д. Селезнево), озеро Озерье (у д. Озерье) в Рязанской области; озеро Белое (у д. Бардуки), озеро Белое (на территории санатория «Озеро Белое»), озеро Глубокое Туголесской озерной группы, озера Щучье и Святое Радовицкой озерной группы в Московской области. Вода этих озер чистая, прозрачная, бесцветная, имеет pH около 7, цветность до 10 гра-

Таблица 34. Химический состав озерных вод по данным метода ИСП-АЭС, пробы от 9 октября 2013 г.

Характеристика/ Элемент	Предел определения	ПДК	оз. Селезневское		оз. Белое (д. Белое)		оз. Белое (санаторий), в центре, поверхность	оз. Озерье, у берега, поверхность
			у берега, поверхность	в центре, глубина 13.4 м	у берега, поверхность	в центре, глубина 34 м		
pH	–	–	6.5	6.4	6.8	7.8	6.8	7.8
Eh, *mV*	–	–	+246	–72	–	+158	–	+158
Температура воды, °C	–	–	19	9	–	18	–	18
мг/дм^3								
Al	0.001	0.5	0.567	0.258	0.007	0.034	0.074	0.079
B	0.001	0.5	0.067	0.029	0.021	0.018	0.074	0.094
Ba	0.00003	0.7	0.037	0.039	0.022	0.018	0.01	0.024
Co	0.0001	–	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.002	< 0.0001
Cu	0.0004	–	0.0079	0.003	0.002	< 0.0001	0.003	0.0018
K	0.001	–	2.61	2.61	5.39	4.94	2.32	2.48
Mn	0.0001	0.1	0.04	0.18	0.42	0.006	0.002	0.009
Na	0.0005	–	3.05	3.56	4.89	4.71	1.96	3.88
Ni	0.0005	0.1	0.0025	0.003	< 0.0001	< 0.0001	0.003	< 0.0001
Sr	0.00005	–	0.064	0.07	0.13	0.113	0.142	0.056
Zn	0.0002	0.1	0.093	0.007	0.02	0.011	0.001	0.006

дусов цветности, перманганатная окисляемость 3-5 мг О/дм^3, общая минерализация 120-300 мг/дм^3, содержание металлов низкое, ни один из показателей не превышает ПДК. Характерной особенностью воды является присутствие фтора, стронция, бора. Ниже приведена таблица химического состава озерных вод (табл. 34).

В Тверской области на торфяных болотах встречаются также озера глубиной 5-7 м, получающие основное питание за счет грунтовых слабонапорных вод, приуроченных к песчаным прослоям или линзам песка среди моренных суглинков. Примером такого типа озер может служить оз. Климошино, расположенное в центре верхового болота Климошинское. Озеро округлой формы, диаметром около 300 м, глубиной 5 м. Берега озера сильно заболочены верховым торфом мощностью 3.5 м. На дне озера залегает сапропель, его вскрытая мощность 1.5 м. Вода в озере сульфатно-гидрокарбонатная кальциево-натриевая, с небольшой цветностью. Ниже приведена таблица химического состава воды озер такого типа, обследованные в 2016 г. (оз. Климошино) и в 2001 г. (озера Старковское, Песочное, Вышнево) (табл. 35).

Таблица 35. Химический состав воды озер Тверского региона (2016 и 2001 г.)

Показатель	Естественные внутриболотные озера			
	оз. Климошино	оз. Старковское	оз. Песочное	оз. Вышнево
pH	6.49	7.46	4.72	7.21
Eh, мВ/м	1.56	14.8	2.93	9.78
ПО, мг О/дм^3	6.01	16.7	7.52	40.1
мг/дм^3				
M_z	16	134	34	92
Ca/Mg	0.1/1.5	32/4.8	4.0/1.2	16/6.1
HCO_3^-	6.1	76	12	49
Cl^-	1.2	3.9	0.6	1.3
SO_4^{2-}	5.7	11	11	14
Na/K	0.8/0.2	5.8/0.3	3.3/0.2	3.1/0.6
$P_{общ.}$	0.034	0.021	0.012	0.02
PO_4^{3-}	0.045	0.003	0.006	0.003
NH_4^+	0.41	0.42	0.5	0.74
NO_3^-	0.15	0.28	0.2	0.12
Цветность, град./$Fe_{общ.}$	35/0.15	40/0.03	65/0.16	20/3

Таким образом, на болотных массивах встречаются глубокие озера, содержащие воду хорошего качества, они являются важным резервом питьевой воды в чрезвычайных ситуациях. Болотные воды, содержащиеся непосредственно в торфе, также можно использовать при экстренной необходимости, используя ее кипячение или отстаивание (при этом трехвалентное железо выпадает в осадок), возможно применение фильтра из активированного угля, обладающего высокоэффективными сорбционными свойствами [61].

Глава 3. Загрязнение торфа тяжелыми металлами

Торф и болотная растительность отличаются сложным химическим составом, что характерно и для многих других природных объектов. Определение полного индивидуального набора слагающих веществ – задача до сих пор практически неразрешимая. т.к. торф – один из наиболее сложных объектов природы, он состоит из большого числа компонентов и включает более пяти фаз: твердую, воздушную, растительную, микробиологическую, водную и др. Торф также различается по степени разложения; характеризуется разной восстановительной средой, гигроскопичностью, неоднородностью, неравномерным загрязнением от различных воздействий. Определение полного состава торфа (горючие вещества, биологически активные, и др.) – задача будущих работ, которая также позволит точнее классифицировать торф конкретных месторождений для более рационального использования этого ценного и полезного дара природы. Наиболее ценной составляющей как торфа, так и почв в целом, является наличие гуминовых веществ (ГВ). ГВ – это смесь сложных полимеров с разным молекулярным набором. Молекулярная масса колеблется от 800 до 1000 г/моль и более. Макромолекулы ГВ имеют непостоянное строение и состоят из упорядоченных конденсированных ядер и неупорядоченной периферийной части [62]. Они составляют до 70% органической части торфа и являются продуктом стохастического синтеза, что объясняет нестехиометричность их состава и нерегулярную гетерогенную структуру. К ГВ относят гуминовые кислоты (ГК), фульвокислоты (ФК) и гумин. Эти органические вещества образуют прочные комплексы с элементами. Наличие ГВ и ГК значительно затрудняет элементный анализ и требует дополнительной, часто продолжительной, пробоподготовки.

Полный элементный анализ торфа проводился крайне редко и нерегулярно, поскольку раньше отсутствовали высокочувствительные многоэлементные инструментальные методы определения элементов и эффективных систем пробоподготовки природных объектов сложного химического состава. Как правило, определяли некоторые элементы по целевому принципу. Например, определяли содержание серы как вредной примеси при использовании торфа для топлива. Если торф использовали в агрохимии, то определяли содержание питательных веществ – азота, фосфора и калия.

Однако, как можно было убедиться по данным таблиц 4, 10, 15, 17 и 26, торф содержит много загрязнителей (мышьяк, свинец, бор, хром и др.) различных классов опасности и неизвестного происхождения. К тому же в настоящее время обострилась эколого-экономическая проблема осушенных торфяных болот центральных областей Европейской части РФ. Особую актуальность данная тема приобрела после пожаров 2010-2011 гг. Одним из последующих шагов,

направленных на сохранение болотных экосистем, стало их активное обводнение. Для центральных областей Европейской части РФ данная задача является приоритетной, что обусловлено активным использованием торфа этих регионов – с 1920-х гг. XX в. – для нужд энергетики страны и последующим его истощением [63, 64]. Известно, что торфяные массивы в целом и на обозначенной территории, в частности, служат регулятором водного и гидрохимического режимов речных бассейнов, они дают начало крупным и малым рекам. В последнее время торфяники центра Европейской части РФ, ранее подверженные антропогенному воздействию: осушению и выработкам, заброшены. За время простоя органическое вещество торфа трансформировалось в результате минерализации, пожаров, вымывания и других природных и антропогенных факторов. Со временем на таких торфяниках запускаются процессы экологического восстановления с формированием вторичной сукцессии. На основании данных мониторинговых исследований, направленных на оценку состояния экосистемы, в частности ее химического состава, происходит принятие решения о возможности ее дальнейшей рекультивации. При необратимых трансформациях систем рассматривается вопрос о сохранении других ландшафтов. Об изменениях можно судить на основании сравнения современных данных с ранее известными. Например, если у торфяной почвы сильно повысилась зольность, уменьшилась мощность из-за пожаров, обнаружены высокие содержания серы, мышьяка или урана, то в этом случае участок лучше обводнить. Применение такого подхода позволяет не только снизить риск возникновения пожаров, но и повысить вероятность дальнейшего восстановления болота и увеличения мощности его торфяного слоя. В других случаях при сохранении крупных залежей возможно проведение торфоразработок для получения дешевого топлива для региона.

Нами определено более 40 элементов. На сегодняшний день такого полного анализа по исследуемым торфоместорождениям проведено не было. Однако сравнить мы можем только 14 микроэлементов, представленных в сборнике В.Н. Крештаповой (данные от 1974 г.) [47]. Сравнение с фоновыми показателями затруднено из-за их отсутствия в литературе по регионам, причем эти данные представлены для почв, а не для торфа [65, 66].

Известно, что показатель $ПДК_п$ (или ОДК от 1995 г.), в основном, был предложен для городских почв или сельхоз использования [67]. В настоящее время, а также с учетом уникальной способности торфа сорбировать и удерживать вещества (торф прочно фиксирует элементы), этот показатель не отражает картину загрязнения полностью и в 20-е гг. XXI в. может использоваться лишь как справочная информация. К недостаткам показателя ОДК можно отнести и то, что ОДК разработаны для валовых форм тяжелых металлов, безотносительно к показателям вредности, и трех литогеохимических групп почв. Известно, что фитотоксичность тяжелых металлов зависит от их химических свойств: валентности, ионного радиуса и способности к комплексообразованию. В большинстве случаев элементы по степени фитотоксичности в почве располагаются в последовательности: Cu > Ni > Cd > Zn > Pb > Hg > Fe > Mo > Mn. Этот ряд может несколько изменяться в связи с неодинаковым осаждением элементов почвой и переводом в недоступное для растений состояние, условиями формирования почв, свойствами и особенностями использования грунта [68].

Компьютерные модельные схемы расчета токсичности элементов (металлов) пока также не могут считаться опорными цифровыми данными в качестве нормативов, т.к. регионы имеют ограничения и не описывают всю модель полностью. Причем ионы металлов классифицируются не только по токсичности (Hg, Al, Co и Cd), но имеют и другие вредные для здоровья человека свойства, как аллергены (Be, Cr^{6+}, Ni, Co и Mn), канцерогены (Cr, As, Fe и Ni), мутогены (Se, Be, Pb, Cs, Zn Cd и Co), гонадотропные (Cu, Zn, Fe, Se).

Этим и другими факторами обусловлена трудность проведения сравнительного анализа по годам и по территориям, относящимся к «чистым», не затронутым антропогенным загрязнением. Поэтому трудно отнести увеличение содержания элементов к загрязнениям или накоплению торфом за некоторый период времени. Следует учитывать также и то, что низинные болота подпитываются подземными водами, из-за чего в торфе возрастает содержание бария и стронция, реже серы, урана, фтора.

Известно также, что величины ПДК установлены не для всех химических элементов. В целом система нормируемых показателей (ПДК, ПДУ, ПДД и др.) оказалась неидеальной для оценки качества среды обитания. Специальное внимание на этот вопрос обратили в своем учебном пособии В.А. Алексеенко и Л.П. Алексеенко [69]. Появление и установление системы предельно нормируемых показателей определяются изначальным консерватизмом биосферы. В то же время большинство загрязняющих веществ длительное время присутствует в почвах. В последующем эти вещества могут из почвы попасть в поверхностные воды, атмосферный воздух или продукты питания.

Методика анализа. Сначала были определены влажность и зольность торфа, затем – озоляли, переводили в раствор и определяли элементный состав золы. Результаты представлены в табл. 4, 10,15, 17 и 26. Эти данные рассчитаны на массу золы. Для работы использовали весы аналитические электронные марки GH-252.

Руководствовались известными методиками и методическими указаниями, общепринятыми на сегодня в анализе торфа, а также новыми приемами пробоподготовки и с использованием современного аналитического оборудования [28, 46, 70-73], а именно: микроволновым разложением золы и определением элементов методом ИСП-МС.

Для установления элементного состава наиболее подходящим методом является масс- спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (МС–ИСП), благодаря высокой чувствительности и разрешающей способности приборов. Этот метод также является надежным, информативным (многоэлементным) и селективным.

Предварительно торф озоляли в сушильном шкафу и затем сжигали в муфеле при 850 °С в течение трех часов. Это проведено для того, чтобы избежать возможного влияния органических веществ, составляющих основную часть пробы торфа, а также для предварительного концентрирования микроэлементов.

Для озоления торфа использовали программируемую двухкамерную печь серии ПДП- Lab (ООО «НПП Томьаналит», РФ). Печь представляет собой компактное, быстродействующее двухкамерное устройство и предназначена для выпаривания и озоления проб. Управление режимами работы камер печи ПДП-

Lab, ввод и сохранение параметров программ термообработки осуществляют с помощью пульта управления, который соединён гибким кабелем с двухкамерной печью. Пульт управления печи хранит в памяти по 9 программ термообработки для двух камер.

В работе использовали кислоту азотную сверхчистую и пероксид водорода («Merck», Германия); многоэлементные калибровочные стандарты (смеси, включающие в себя различные элементы, как по массам, так и по группам; стандарты на один элемент) («Panreac», Испания и «Ultra-Scientific», «Perkin-Elmer», США). Калибровочный раствор готовили разбавлением соответствующих стандартов. Разбавления проводили ультрачистой деионизованной водой (15÷18 МО м·см^2, ТУ 2123-002-00213546-2004) и в пластиковой посуде.

Разложение золы торфа осуществляли азотной кислотой и пероксидом водорода в микроволновой системе «MWS 2» («BERGOFF», Германия) в тефлоновых стаканах DAP60K (давление 40 бар, температура 230 ºС, навеска пробы 500 мг). Измерения проводили на масс- спектрометре с индуктивно-связанной плазмой «ELAN DRC II» («Perkin Elmer», США). Полученные данные обрабатывали с помощью программы «Elan ICP-MS Instrument Control», версия 3.4. Для обзорного анализа и идентификации проб использовали полуколичественный режим сбора данных «Total Quant», преимущество которого заключается в определение полного элементного состава пробы за 2-3 мин.

Сравнение проводили с данными, полученными практически вначале торфоразработок в исследованном районе [47]. Наши данные сравнивали с максимальными содержаниями, указанными в методических рекомендациях. В результате практически за 40 лет можно отметить следующие изменения по химическому составу микроэлементов: по Радовицкому Мху наблюдается повышение содержания в 2-3 раза микроэлементов: Ti, V, Mn, Co, Cu, Sr и Pb и снижение – в 1.6-2 раза по Zr, Ni, Cr и Y. По Журавлиной Родине отмечено превышение содержания свинца в три раза. По Озеркам существенного изменения по этому разрезу не наблюдается.

При сравнении с ПД [67] некоторое превышение по меди наблюдается на Радовицком Мху – 30.3 мг/кг (15 мг/кг ПДК Cu), и по свинцу на Журавлиной Родине и Радовицком Мху – 64.52 и 29.63 мг/кг соответственно (65 мг/кг ПДК Pb).

Известно, что после пожаров, а также предполагаемого интенсивного обводнения торфяников происходит потеря их биоразнообразия. Могут бесследно исчезнуть растения и животные, занесенные в Красную книгу. Как показывают исследования, в некоторых случаях восстановление болот происходит очень медленно, в течение сотен лет. Повторное обводнение многих территорий, особенно поврежденных пожарами, может повлечь за собой возникновение различных инфекций.

Ниже приводим некоторое сравнение микроэлементного состава с ранее известными данными и между исследуемыми торфяниками (табл. 36, 37).

При сравнении полученных и имеющихся данных нужно учитывать, что Крештапова В.Н. с сотрудниками проводили анализ торфа практически в начале торфоразработок. Тогда велась разработка слаборазложившегося торфа верхового и переходного типов, низинного типа со степенью разложения до

Таблица 36. Изменение микроэлементного состава золы торфа (мг/кг)

Металл	Радовицкий мох, образцы 2011 г. (горел сильно в 2010 г.),	Кларк (почвы) (Виноградов, 1957)	Радовицкий мох, по Крештаповой В.Н. (1974 г), – средние значения (максимальные)
Титан Ti	730.5	4600	71.2 (93)
Ванадий V	66.82	100	2.1 (3.1)
Хром Cr	2.99	200	0.7 (0.9)
Марганец Mn	224.01	850	17.2 (54)
Кобальт Co	3.4	8	0.1 (0.2)
Иттрий Y	6.3	50	0.6 (0.7)
Никель Ni	не обнаружено	40	1.0 (1.4)
Медь Cu	30.3	20	1.6 (1.9)
Цинк Zn	11.14	50	2.7 (5.4)
Германий Ge	0.35	-	0.04 (0.06)
Стронций Sr	324.93	-	7.1 (9.3)
Цирконий Zr	19.9	-	13.8 (3.1)
Молибден Mo	5.55	-	0.2 (0.2)
Свинец Pb	29.63	-	0.6 (0.9)
Барий Ba	381.26	-	не определяли

Таблица 37. Микроэлементный состав торфяной золы

Металл	Журавлиная Родина	Озерки
Титан Ti	137.4	13.63
Ванадий V	12.28	6.21
Хром Cr	не обнаружено	1.23
Марганец Mn	59.86	13.21
Кобальт Co	0.832	1.11
Иттрий Y	4.77	4.46
Никель Ni	не обнаружено	1.6
Медь Cu	6.542	0.691
Цинк Zn	35.43	3.03
Германий Ge	0.274	0.016
Стронций Sr	87.86	6.41
Цирконий Zr	3.59	4.89
Молибден Mo	2.94	0.043
Свинец Pb	64.52	1.67

15 % и с малой зольностью (до 5%), залегающего в верхнем слое торфяной залежи. Мы же работали, в основном, на выработанных и заброшенных торфяных полях с высокозольным торфом. Поэтому, при всем затруднении сравнения содержания элементов в торфе, можно сказать, что тенденция к увеличению их содержания четко прослеживается.

Глава 4. Сокращение площади торфяных болот в связи с их переходом в другие типы ландшафта – заболоченный луг, сельскохозяйственные поля, культурный ландшафт садово-огородных участков и селитебных территорий

В центральной части европейской России площади болот составляют около 1 млн га, из них на 850 тыс. га производились торфоразработки. Первые торфоразработки появились под Санкт-Петербургом в начале XVIII в., а в XIX в. они действовали в Псковской, Смоленской и Московской областях. Наиболее крупные торфоразработки появились в начале XX в. для снабжения топливом крупнейшей в то время Шатурской электростанции. На нужды Шатурской станции работали практически все торфоразработки Московской, Владимирской, Рязанской и даже Кировской областей, но в конце 1980-х гг. станция перешла на использование мазута, газа и нефти. Добыча торфа резко снизилась.

В 1960-1980-е гг. активно проводились работы по осушению болот под нужды сельского хозяйства. Были освоены, главным образом, низинные болота под овощные культуры и посевы трав.

В сокращении площадей болот большую роль сыграли торфяные пожары, охватившие центральные области страны в 1972, 2002, 2007 и 2010 гг.

В результате антропогенной деятельности происходит общее снижение высотных уровней торфяников, перераспределение водной массы по разрезу торфа, биохимическая минерализация верхних слоев торфа, изменение растительности, начинают формироваться новые типы ландшафта – заболоченный луг, сельскохозяйственные поля, культурный ландшафт садово-огородных участков и селитебных территорий.

В настоящее время большинство бывших торфоразработок, осушенных площадей под сельское хозяйство и сгоревших торфяников являются брошенными землями, на которых и возникают пожары. На некоторых площадях происходит естественное восстановление болот, небольшая их часть восстанавливается человеком, а на некоторых площадях происходит их трансформация в новый тип ландшафта – заболоченный луг или культурный ландшафт – пашню, пастбище, садово-огородные участки, селитебные территории.

Рассмотрим несколько примеров трансформации торфяного болота.

1. Мезотрофное болото Галицкий Мох (Тверская область, Конаковский район). Здесь на сгоревшей части болота площадью около 1.5 тыс. кв. м проводились наблюдения за изменением разреза торфа, качеством болотной воды, гидрологическим режимом участка в течение 8 лет (2010-2018 гг.). Наблюдения проводились во второй половине августа перечисленных лет, данные химических анализов почвы (золы, пирогенного и термически измененного торфа) и

воды выполнены в гидрохимической лаборатории Института водных проблем РАН. Исследуемый участок до пожара представлял собой залесенное мезотрофное болото, осушенное под торфоразработки в 1960-1970 гг.; 26 августа 2010 г. авторы впервые пришли на непотушенный участок, который еще горел в отдельных местах (см. Вклейку, рис. 3, 4). Деревья на участке сгорели полностью. Поверхность болота была неровная с отдельными углублениями до 30 см (места выгоревшего торфа). Температура поверхностного слоя была около 70-80 °С (приходилось постоянно менять положение ног, прыгать или ходить по участку), местами были заметны «струйки» дыма из-под земли, чувствовался запах гари. Сверху залегал горелый торф с тонкими пластинками черных угольков (или кокса) диаметром 1.5-2 мм. Цвет слоя почти черный, структура рассыпчатая. Местами на поверхности или на глубине 0.1-0.2 м залегала торфяная зола ярко рыжего цвета мощностью 1-10 см, в основании зольного горизонта также встречались черные угольки. Цвет породы под золой остается почти черным, с глубиной он меняется на коричневый. Мощность торфа – 0.8 м, подстилающие породы – суглинки, местами супеси. Повышенная температура породы сохранялась на глубине. Так образцы торфа с глубины 0.4 м оплавляли полиэтиленовые мешочки, приготовленные для отбора проб (значит, их температура была ≥ 70-80 °С), а торф на глубине 0.7 м был теплым на ощупь, подстилающая порода была холодной. В лабораторных условиях определены коэффициенты фильтрации различных слоев торфа на месте пожара:

- в верхнем слое-золе (со шлакообразной структурой) – до 100 м/сут;
- в пирогенном черном торфе с глубины 0.4 м – 4.8 м/сут;
- в пирогенном коричневом торфе с глубины 0.7 м – 1.9 и 3.3 м/сут.

Следует напомнить, что коэффициент фильтрации естественного мезотрофного торфа равен 0.016-0.06 м/сут. Известно, что влагоемкость торфов достигает тысячи и даже более процентов (у олиготрофных торфов). Мезотрофные торфа имеют влагоемкость порядка 600-800%, а после пожара она существенно уменьшилась. Влажность мезотрофного естественного торфа составляет всегда около 80-90%, даже в жаркие засушливые годы. А после пожара значения влажности сократились. Таким образом, после пожара гидрологический режим участка изменился: в мае–июне УБВ располагался близ поверхности земли, а в июле–сентябре каждого года снижался до 0.6-1.2 м. В период летней межени пирогенные слои торфа теперь находятся в аэробных условиях. В этой обстановке происходит разложение органического вещества и накопление главным образом гумуса; интенсивное зарастание участка не болотной растительностью (табл. 5); смена микроорганизмов и появление в верхнем почвенном слое новой фауны, несвойственной болоту – дождевого червя (найден под дерниной на глубине 0.3 м в сентябре 2018 г., его длина – 12 см, диаметр – 3 мм).

Наибольшие изменения произошли в зольном горизонте. Здесь содержание зольных минеральных частиц составляет 42–86%, а содержание ОВ снизилось до 14-58%, повысилось содержание ионов кальция и фосфат-ионов. К 2018 г. в верхней части разреза появилась хорошо развитая дернина – слабовлажная, рыхлая, мощностью около 0.2 м. Несколько ниже залегает прослой плотно слежавшейся золы желтого цвета. Еще ниже залегает торф черный, хорошо разло-

жившийся, с глубины 0.6 м окраска меняется на бурую или темно-коричневую. По мнению авторов на исследуемом участке Галицкого Мха создались условия для формирования дерново-подзолистых почв – промывной водный режим, доступ кислорода воздуха, наличие травяного покрова и молодого лиственного леса. При этом отмечается исчезновение некоторых видов растений, характерных для болотного ландшафта – печеночных, гипновых и сфагновых мхов, осоковых. Листовой опад осины, березы, ивы и ольхи снабжает характерными для формирующейся почвы основными минеральными и органическими веществами. По-видимому, главной причиной развития нового типа почв, а вслед за этим и нового типа ландшафта, является изменившийся гидрологический режим территории. На бывшем болоте Галицкий Мох медленно и неуклонно идет процесс сокращения площади болота и превращения ее в заболоченный луг или заболоченный лес, а при активном вмешательстве человека – в культурный ландшафт (садово-огородные или дачные участки). Болото со стороны пос. имени Радченко и пос. Редкино уже освоены, на них построены дома, участки засажены сельскохозяйственными культурами, в некоторых хозяйствах содержится скот. Следует отметить, что пос. имени Радченко возник в 1920-1930 гг. на болоте. В настоящее время это современный поселок с 2-х и 5-ти этажными домами.

По мнению автора работы [12], исследуемая система движется в направлении геобиоценоза иного типа, не связанного с восстановлением болота. Критерием является структура фитоценоза за 2010-2018 гг. Болотная экосистема имеет всегда четкие растения-индикаторы, доминирование которых стабильно отражает характерные для болот условия.

После пожара 2010 г. наблюдается тенденция заселения участка травянистой растительностью. Первыми появились крапива (указывающая на высокое содержание азота в почве), подмаренник настоящий, малина обыкновенная, полынь и иван-чай. Появились осока острая и осока двудомная, но в незначительных количествах. В последующие годы стали развиваться астровые и злаки. Данный фитоценоз характеризуется как разнотравно-злаковый луг, и переход его в болотный фитоценоз слабо вероятен.

На площадке Галицкий Мох пожар вызвал значительные изменения в структуре и активности бактериального сообщества болота. Появились новые группы бактерий, не типичные для естественного мезотрофного болота, они могут стать причиной разрушения некоторых устоявшихся биосферных закономерностей данной экосистемы [3, 13].

2. Такие же процессы происходят на Озерецко-Неплюевском болоте после прекращения в 1990-е гг. торфоразработок и опустошительных пожаров последних лет. Озерецко-Неплюевское болото отличается от других обследованных нами болот глубоким залеганием грунтовых вод. Пробуренные скважины ручного бурения в 2000-2016 гг. обычно фиксировали их глубину в 1.5-2.0 м, иногда скважины глубиной 2.0-2.5 м не достигали уровня подземных вод.

Геологический разрез торфа на заброшенном поле фрезерной добычи, отличается пониженными значениями влажности пород.

Изучение химического состава Озерецко-Неплюевских торфяников приводит авторов к следующим выводам: показатели химического состава антропо-

генно нарушенных торфяников имеют схожие черты с дерново-подзолистыми почвами центральной части России, а именно: их кислотность нейтральная или слабо щелочная; содержание поглощенного азота высокое, значительно выше, чем в торфяных почвах исследуемого болота; высокое содержание поглощенного фосфора (по Кирсанову) – 4.16-41.4 мг P_2O_5/100 г почвы вверху разреза и до 3 мг/100 г на глубине более 0.3 м; содержание Ca и Mg также достаточно высокое (кальция 30-105 мг-экв/100 г почвы, а в природном евтрофном торфе 0.4-0.6 мг-экв/100 г, магния до 2 мг-экв/100 г). Следует отметить высокую степень насыщенности основаниями в 77-100% (в природном торфе 20-30%). Относительно органического вещества во вновь формирующейся почве можно сказать, что гумусовый горизонт, развивающийся под дерниной, еще маломощный (3-7 см), плохо сформировавшийся.

В связи с глубоким залеганием подземных вод, созданием аэробной обстановки в верхних слоях торфа и благодаря сведению лесов из-за пожаров на отдельных площадях болота стала развиваться луговая растительность, под дерниной стал накапливаться гумусовый горизонт, в разрезе торфа стали формироваться своеобразные почвенные горизонты – горизонт вымывания и горизонт вмывания. Болотообразовательные процессы прекратились.

3. Заказник «Журавлиная Родина» и Дубненский болотный массив. Ярким примером трансформации болота в другой тип ландшафта являются мезотрофное и евтрофное болота Дубненского массива рядом с заказником «Журавлиная Родина» и внутри него [35]. В 1970-1980 гг. на правом берегу р. Дубна, южнее д. Леоново и близ д. Нушполы были прорыты десятки километров мелиоративных осушительных каналов (земли бывшего животноводческого совхоза Северный). И сейчас, в начале XXI в., осушенные в 1980-е гг. мезотрофные и евтрофные болота справа и слева от дороги на д. Окаемово, используются под сеяные травы (бывшие мезотрофные болота) и овощные культуры – морковь, картофель, капусту и свеклу (бывшие низинные болота). Летом 2011 г., а также в 2014, 2015 и 2016 гг., авторы работали в заказнике «Журавлиная Родина», стараясь выявить изменения в физико-химических характеристиках почвенных разрезов, химическом составе болотных вод, в проведении мероприятий по обводнению и подтоплению некоторых болот. На осушенном мезотрофном болоте была проведена плантажная вспашка глубиной до 0.8 м, при которой выкорчевываются корни деревьев. Практически каждой весной здесь вносились азотно-фосфорно-калийные удобрения. В настоящее время на полях сверху залегает сухой торф с глубокими трещинами рассыхания, торф средней степени разложения, пластичный. На глубине 0.2-0.7 м торф травяного состава более светлой окраски с включениями слабо разложившейся древесины. Ниже 0.7 м торф становится влажным, УБВ устанавливается на глубине ~1.0 м. С глубины 1.4 м залегают пески кварцево- полевошпатовые водонасыщенные, которые постепенно переходят в суглинки и сапропели. В северной части описываемого участка в начале 2000-х гг. были пробурены три скважины для наблюдения за изменением УБВ в течение года. По данным наблюдений установлено, что уровень воды колеблется от 0.4 м в весенний период до 1.4-1.6 м в период летней межени, в зимний период уровень стоит на глубине 1.0-1.8 м. Значения естественной влажности пород в верхнем 40 см слое в летний период состав-

ляет 30-50% (минимальное значение в 28.6% было зафиксировано в 2011 г. на торфянике мезотрофного болота), тогда как в ненарушенном мезотрофном болоте эта величина составляет ~90% по всему разрезу торфа, независимо от погодных условий. Таким образом, благодаря проведению весенней вспашки, внесению удобрений, засеиванию территории кормовыми травами, проведению некоторых, хотя и нерегулярных сельскохозяйственных работ, на участке сформирован промывной гидрологический режим, отличающийся от болотного режима, и ведущий к изменению почвы.

Ближе к р. Дубна, справа от дороги на д. Окаемово (рис. 17) располагаются осушенные низинные болота, используемые под посадку картофеля и посевы моркови, свеклы и других культур. Поля ежегодно распахивают, вносят минеральные удобрения, летом проводят прополку, окучивание картофеля, рыхление земли. Осенью при сборе урожая почвенный слой снова подвергается нарушению структуры. В 2016 г. нами была пробурена скважина глубиной 2.0 м.

Разрез пород следующий:

0.0–0.2 м	пахотный слой, представленный темно-серой почвой пылеватой структуры, без видимых остатков торфяных растений;
0.2–0.6 м	почва становится более плотной, листоватой структуры, более темной окраски, пластичной;
с глубины 0.6 м	торф влажный, пластичный, местами рыхлый, более светлой окраски
на глубине 1.2 м	залегает сапропель, порода светло-серая, содержит мелкие белые раковины моллюсков диаметром до 5–6 мм. Вскрытая мощность сапропелей 0.8 м.

УБВ установился на глубине 2.0 м.

На правом берегу р. Дубна осушались под сельское хозяйство все типы болот – олиготрофные, мезотрофные и евтрофные. В настоящее время олиготрофные болота не осушены и не используются, тогда как мезотрофные и евтрофные, осушенные в 1980-е гг., используются до сих пор. Сельскохозяйственные поля протянулись на несколько километров вдоль правого берега р. Дубна до п. Нушполы. Урожай сельскохозяйственных культур достаточно высокий. Можно сделать вывод, что мезотрофные и евтрофные болота на правом берегу р. Дубна превращены человеком в новый тип ландшафта – пашню, выпас для скота, заболоченный луг, с типом почвы – окультуренные торфяные.

4. В НП «Мещера», в Рязанской области, Спас-Клепиковском районе, к югу от деревни Макеевка в 1970-ые годы были осушены и освоены под сельское хозяйство низинные болота. Земли использовались для возделывания картофеля, трав, зерновых и овощных культур, здесь размещались также продуктивные пастбища. В 1990-е гг. поля были уничтожены пожарами. Торфяная залежь мощностью до 1.5 м сгорела практически до подстилающих песков. В 1996 г. эта площадь в 2000 га представляла собой безжизненную песчаную равнину [75, 76]. По описанию авторов книги [75] «территория, охваченная пожаром, полностью лишилась плодородного почвенного органогенного слоя мощнос-

тью 0.5-1.2 м. Поверхность пожарища почти не занята растительностью и в настоящее время подвержена активной ветровой эрозии. Она покрыта слоем желто-охристой золы, легко развеваемой в сухом состоянии. Ее мощность колеблется от 1-2 до 10-16 см». Авторы отмечают высокое содержание практически всех макро (Ca, Mg, K, Mn и P) и микроэлементов (Pb, Cd, Cu). Значение pH непосредственно после пожара оказалось сильнощелочным – 10.5-11.6. Содержание органического углерода составило 4.18% (что в пересчете на гумус составляет 7.12%, как в черноземе). На следующий 1997 г. значения pH снизились до 8.2-8.4. За один год валовое содержание Ca, Mg, K и Mn уменьшилось соответственно на 32, 45, 30 и 38%. Вынос фосфора был относительно невелик – 10%.

В 2007 г. на бывших сельскохозяйственных полях снова произошел пожар, уничтоживший небогатую растительность, возникшую после пожара 1996 г.

В сентябре 2014 г. авторы настоящей книги обследовали эти места. Исследуемое поле представляло собой луг с сохранившимися с 1970-х гг. полуразрушенными обводненными каналами, с редкими ивами, растущими на пониженных участках. На поле был вырыт шурф глубиной 0.4 м до подстилающих песков. Разрез вскрытых пород следующий: 0.0-0.15 м – дернина, 0.15-0.35 м – черный сухой однородный перегной. УБВ – около 1.0 м. С глубины 0.2 и 0.35 м взяты образцы на химический анализ (табл. 38).

Анализируя данные таблицы, можно сказать, что в обоих слоях почвы очень высоко значение зольности – 92-94%, что позволяет отнести ее к минеральной почве, с нейтральной реакцией среды (pH равен 6.7-7.5 единиц). Почва содержит необходимые растениям азотные соединения (NH_4 – 5.4-11.5 мг N/100 г, NO_3 – 0.2-1.3 мг N/100 г) и соединения фосфора (P_2O_5 – 20.5-33.1 мг/100 г). Почва содержит 10.5 мг-экв/100 г обменного Ca и 2.9-5.2 мг-экв/100 г Mg. В почве повышено содержание железа ($Fe_{общ.}$ 10.7-14.0 мг/100 г). Органическое вещество также находится в достаточном количестве.

По данным 2018 г. бывшие поля и пастбища заброшены, они заросли березой, осиной, ольхой высотой около 3 м, лишь на небольших расчищенных участках местные жители пасут скот. Мелиоративные каналы и насосная станция на р. Пра разрушены.

5. На болоте Радовицкий Мох (Московская область, Шатурский район) имеется много примеров возникновения осушенных песчаных площадей среди болот. На наш взгляд на трансформацию болота в песчаные луговые площади наибольшее влияние оказывают торфяные пожары, при которых торф выгорает до подстилающих материнских пород. В этом случае уничтожается торфяная подушка, которая, благодаря своей высокой влагоемкости, может обеспечить рост молодых болотных растений, появившихся на гарях. Согласно нашим наблюдениям даже при глубоком залегании грунтовых вод (более 1.5 м) верхние слои торфа остаются водонасыщенными, т.к. в период снеготаяния они насыщаются водой и удерживают ее длительный период до осенних дождей или следующего весеннего снеготаяния. В случае полного сгорания торфа молодые растения не получают достаточного количества влаги и погибают. Только засухоустойчивые растения, такие как полынь, иван-чай, крапива, маки и др. приживаются на открытых песчаных несколько возвышенных площадях. Подтоп-

Таблица 38. Химический состав почвы у дер. Макеевка

Параметр	Перегной, с глубины 0.2 м	Перегной, с глубины 0.35 м
$pH_{вод}$	7.5	6.7
$pH_{солевой}$	7.1	6
Железо Fe^{2+}, мг/100 г	8.05	4.61
Железо Fe^{3+}, мг/100 г	5.94	6.13
Железо общ., мг/100 г	14	10.74
NH_4^+ поглощенный, мг N/100 г	11.5	5.4
S, мг-экв/100 г	25.5	5.1
H, мг-экв/100 г	10.7	13.6
V, %	70.4	27.3
Фосфор $P_{кирс.}$, мг P/100 г	33.1	20.5
A^d, %	91.5	94.5
Ca^{2+}, обменный, мг-экв/100 г	16.4	10.5
Mg^{2+}, обменный, мг-экв/100 г	2.9	5.2
Водная вытяжка		
Разбавление пробы	1:50	1:5
У.э.в., мСм/м	4.0	9.3
ПО, мг C/100 г	17	6.1
Цветность, град. цветности	46	189
Сухой остаток, %	0.25	0.06
Нитрат-ионы, мг N/100 г	1.3	0.2
Сульфат-ионы, мг/100 г	15.3	0.38
Карбонат-ионы, %	0.01	0.01
Хлорид-ионы, %	0.007	0.001
Ca^{2+}, мг-экв/100 г	1	0.15
Mg^{2+}, мг-экв/100 г	1.1	0.11

ление территорий, где торфа выгорели до основания, может привести к восстановлению болота лишь через сотни (а возможно и тысячи) лет. Восстановление болота будет происходить в условиях, схожих с первоначальным образованием болота, когда при отступании ледника (в данном случае московского оледенения) образовывались низины или углубления в подстилающих породах, которые заполнялись талыми водами, и где происходило торфонакопление.

6. Наибольшие площади бывших болот превращены в селитебный ландшафт – садово-огородные участки или площади, застроенные поселками и даже городами. В Московской области садово-огородные участки, построенные на торфяниках, занимают около 0.5 млн га. На таких участках почвы обычно отличаются низким содержанием фосфора и калия; азота в них много, но он находится в связанном состоянии и высвобождается медленно по мере разложения органического вещества. Торфяные почвы имеют низкую тепло-

проводность и обычно повышенную кислотность. При окультуривании почвы требуется проведение осушения, внесение песка и плодородной земли, внесение удобрений, при повышенной кислотности почв – известкование. На примере Мещерской низменности можно проследить, как интенсивно шло освоение этой территории. В начале XX в. в связи с торфоразработками для Шатурской ГЭС возникли десятки торфопредприятий – Шатурторф, Осаново, Бакшеево, Керва, Туголесский Бор, Пустоша, Радовицкий Мох, Рязановка и др. При них строились поселки для рабочих. В 1925 г. была построена Шатурская ГЭС, при ней вырос город Шатура с населением в 32600 человек (данные 2010 г.), занимающий в настоящее время площадь в 3600 га выработанных низинных и верховых торфяников. С 90-х годов прошлого столетия станция перешла на использование мазута и газа, торфопредприятия в пределах Московской области были практически все закрыты. Поселки, построенные для торфоразработчиков, в настоящее время превращаются в дачи или базы отдыха.

Для возврата болот и их сохранения как самостоятельного типа ландшафта рассмотренные территории нуждаются в рекультивации, принудительном затоплении или подтоплении выработанных торфяных массивов [77, 78]. К настоящему времени площади выработанных торфяных месторождений составляют в Московской области 100 тыс. га, в Тверской – 42 тыс. га, во Владимирской – 40 тыс. га. Их рекультивация проводится очень медленно. В Тверской области только три выработки из 81 затоплено, в Московской – 15.

Глава 5. Новые методы исследования воды и торфа

Расскажите, птицы, времечко пришло,
Что планета наша – хрупкое стекло,
Чистые березы, реки и поля,
Сверху все это – нежнее хрусталя,
Неужели мы услышим со всех сторон
Хрустальный звон? Прощальный звон?

Николаев И.Ю. «Расскажите птицы»

В настоящее время имеется большое число инструментальных методов, уникальное оборудование которых позволяет обеспечить надежное выполнение многоэлементных определений в таких сложных пробах неизвестного состава как объекты окружающей среды. Это – рентгенофлуоресцентный анализ (РФА), масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС), капиллярный электрофорез (КЭ), хроматография, атомно- абсорбционная спектрометрия (ААС), спектрофотометрия и другие.

РФА – один из современных спектроскопических методов исследования вещества с целью получения его элементного состава в порошках, жидких и твердых материалах. Анализ можно проводить без разрушения проб. С помощью него могут быть найдены различные элементы от бериллия (Be) до урана (U).

ИСП-МС – это разновидность масс-спектрометрии, отличающаяся высокой чувствительностью и способностью определять ряд металлов и нескольких неметаллов в концентрациях до 10-10%, многоэлементный анализ жидких сред. Метод охватывает практически все элементы периодической системы химических элементов (таблицы Менделеева).

КЭ – используется для разделения ионов по заряду. Метод основан на разделении заряженных компонентов сложной смеси в кварцевом капилляре, предварительно заполненном подходящим электролитом, под действием приложенного электрического поля. Используется малый объем анализируемого раствора (~2 нл). КЭ – интенсивно развивающийся метод разделения сложных смесей, позволяющий анализировать ионные и нейтральные компоненты различной природы с высокой экспрессностью и уникальной эффективностью.

Хроматография – метод разделения и анализа смесей веществ, а также изучения их физико-химических свойств. Основан на распределении веществ между двумя фазами – неподвижной (твердая фаза или жидкость, связанная на инертном носителе) и подвижной (газовая или жидкая фаза, элюент).

ААС – распространённый в аналитической химии инструментальный метод количественного элементного анализа (современные методики атомно-абсорбционного определения позволяют определить содержание почти 70 элементов

таблицы Менделеева) по атомным спектрам поглощения (абсорбции) для определения содержания элементов в растворах: в природных и сточных водах, технологических и прочих растворах.

Спектрофотометрия – физико-химический метод исследования растворов и твёрдых веществ, основанный на изучении спектров поглощения в ультрафиолетовой (200-400 нм), видимой (400-760 нм) и инфракрасной (> 760 нм) областях спектра. Спектрофотометрия широко применяется при изучении строения и состава различных соединений (комплексов, красителей, аналитических органических реагентов и др.), для качественного и количественного определения веществ (определения следов элементов в металлах, сплавах, технических объектах).

Есть много работ и монографий по практическому применению этих уникальных методов анализа различных объектов [79-89]. Однако эти высокотехнологичные методы являются лабораторными. Приборы высокочувствительны и требуют соблюдения не только контроля технологической среды по климатическим параметрам и концентрации частиц в воздухе, но часто и контроля статического электричества, воздушных молекулярных загрязнений, вибрации и электромагнитных излучений.

Регистрация аналитического сигнала на таких приборах невозможна без предварительной пробоподготовки (разной степени сложности) для переведения пробы в удобную для проведения анализа форму.

Поэтому коснемся только тех методов, которые на практике можно применить и вне лабораторий [90-93]. Это методы – спектроскопия диффузного отражения (СДО) и окситермография. Они практически не требуют реактивов, достаточно надежны, а сами приборы мобильны. Современное состояние портативного приборостроения вместе с высоким уровнем ПК оснащения позволяют вывести эти два метода в первый ряд для полевых исследований и методов анализа. Этому также способствует миниатюризация приборного оснащения, возможность автоматизации технологических схем анализа, высокая защита от пыли, излучений различного рода, шумо- и виброустойчивость и ряд других параметров, при работе на таких приборах не требуется соблюдения серьезных правил безопасности. При разработке этих методов использованы некоторые принципы «зеленой химии» [94] – проведение анализа таким путем, который не вредит окружающей среде, не требует традиционных органических растворителей, приводит к снижению затрат.

5.1. Анализ воды. Определение неорганических веществ

К активно развивающемуся в настоящее время методу определения неорганических ионов относится спектроскопия диффузного отражения (СДО). Интенсивно развивается направление анализа воды методом СДО с применением твердых сорбентов (хроматографическая бумага, полимеры, такие как мембраны, волокна, пленки, порошки и др.), имеющих неровную шероховатую поверхность. Метод СДО заключается в следующем: свет источника отражается от сорбента под несколькими углами, равномерно отраженное от сорбента излучение собирается под широким углом и передается на детектор.

В качестве сорбента наиболее перспективными оказались волокнистые материалы, наполненные ионообменниками [95-101]. Такие материалы удобны в работе и прежде всего при проведении на твердой фазе цветных реакций ионов элементов с органическими реагентами. Комплексообразование протекает с изменением цвета сорбента-носителя с сорбированным элементом, что можно фиксировать на приборе измерением спектра отражения и коэффициента диффузного отражения. Волокнистые сорбенты – это тонкое нетканое полотно, волокна которого наполнены измельченным ионообменником (ПАНВ). Они характеризуются хорошими кинетическими и ионообменными свойствами, позволяют предварительно концентрировать и затем определять ионы элементов на твердой фазе сорбента. Сорбенты такого типа к тому же механически и химически устойчивы в средах от сильнокислых до слабоосновных, при перемешивании любой интенсивности и при нагревании в растворе. Возможны различные варианты определения: сорбция окрашенного комплекса, образованного в растворе; сорбция определяемого иона с последующим комплексообразованием непосредственно на твердой фазе; одновременная сорбция и комплексообразование определяемого иона на сорбенте с иммобилизованным органическим реагентом. Каждый из вариантов имеет свои достоинства и ограничения.

Сорбент используют в виде дисков диаметром 10 или 20 мм; определение возможно как в статических, так и в динамических условиях. Пористые диски сорбента – это основа так называемых оптосенсоров или чувствительных элементов. Масса такого диска 10 мг; толщина нити полиакрилонитрильного волокна 40-50 мкг, размер части наполнителя 5-10 мкг. В качестве наполнителя могут быть иониты типа КУ-2, АВ-17 или АНКБ-50 и другие ионообменные смолы. Диски одновременно являются и местом протекания цветной реакции, и средством концентрирования определяемого иона и сброса сопутствующих компонентов. Фиксация реагентов на сорбентах осуществляется главным образом по ионообменному механизму, частично за счет адсорбции, образования водородных связей и других взаимодействий.

К настоящему времени разработаны методики определения более 20 элементов: Pb(II), Cd, Hg(II), Mo(П), Cr(III) и (VI), Cu(II), Ni(II), Co(II), Th(IV), U(IV) и (VI), Fe(II, III) и др. с пределом обнаружения ниже уровня предельно-допустимых концентраций этих элементов в воде. Экспериментально получены пределы обнаружения тяжелых металлов порядка 0.1-30 нг/мл. В методиках используют широко известные и доступные наиболее чувствительные и избирательные реагенты – дитизон, дифенилкарбазид, тиоцианат калия, арсеназо I, арсеназо III, ортаниловый К, диметилглиоксим, пиридилазонафтол (ПАН), пиридилазорезорцин (ПАР), этилендиаминтетраацетат натрия (ЭДТА), диэтилдитиокарбаминат натрия (ДЭТК) и некоторые другие. Разработаны методики определения нескольких элементов из одного раствора на одном диске носителя с различными реагентами, одновременной сорбции элементов из одного раствора на различных дисках. Определяемый ион в форме катиона может быть сорбирован на катионообменнике или в виде анионного комплекса на анионообменнике. Это использовано и для определения анионов.

Таблица 39. Реакции ионов элементов на твердой фазе

Определяемый элемент	Условия сорбции	Реагент и условия определения	Предел обнаружения, мкг/см^3
As(V)	ПАНВ-АВ-17, pH 6	Гетерополикислота, 1М H_2SO_4, аскорбиновая кислота	0.004
Re(VII, IV)	ПАНВ-АВ-17, 1М NaOH	Бензолазобензолазороданин, гидроксиламин	0.005
Pd(II)	ПАНВ-АВ-17, 0.75М NaCl	*n*-Нитрозодиэтиланилин, pH 1–3.5	0.005
Ni(II)	ПАНВ-КУ-2	Диметилглиоксим	0.005
Co(II)	Ткань с фосфатными группами, pH 5-6, ацетаты	ПАН	0.05
Cr(III)+Cr(VI)	ПАНВ-АВ-17, 0/01 М H_2SO_4	1,5-Дифенилкарбазид	0.01 Cr(VI) или $Cr_{суммарный}$
Cu(II)	ПАНВ-КУ-2,0.01-0.05 М HNO_3	Диэтилдитиокарбаминат натрия + ЭДТА	0.002
Fe(III)	ПАНВ-КУ-2, 0.1 М HNO_3	KSCN	0.01
Zn(II)	Ткань винил-пиридин., pH 9–10, бораты	Дитизон + ДЭТК	0.1
Th(IV)	ПАНВ-АВ-17	Ксиленоловый оранжевый	0.004
U(VI)	ПАНВ-АВ-17	Арсеназо I	0.0005
Hg(II)	ПАНВ-АВ-17, pH 5–7.5, 0.2 М NaCl	Дитизон; длина волны 590 нм	0.01
SO_4^{2-}	ПАНВ-АНКБ-50+Ba, pH 6	Ортаниловый К	0.8
$S_2O_7^{2-}$	ПАНВ-АВ-17+Pb, pH 4	ПАР	2

Примеры реакций ионов некоторых элементов на твердой фазе, на основе которых разработаны методики их определения методом СДО, приведены в табл. 39. Время анализа 5-6 проб не более 50 мин.

Методом спектроскопии диффузного отражения, например, изучены особенности образования комплексов SCN^--ионов на твердой фазе волокнистых материалов, наполненных анионообменником АВ-17 (сорбент назван ПАНВ-АВ-17). Изучены условия сорбции тиоцианат-ионов на ПАНВ-АВ-17 в динамическом режиме и влияние содержания анионов Cl^-, SO_4^{2-}, NO_3^- на сорбцию и аналитические сигналы тиоцианатных комплексов. Предложена система для твердофазного определения 0.1-0.7 мкг/мл SCN^--ионов в водных растворах с pH 5 ± 1 на ПАНВ-АВ-17.

Интересна методика определения Cr(III) и Cr(VI) – сначала определяется Cr(VI) на фоне Cr(III), затем окисляется Cr(III) в Cr(VI). Определяется суммарное содержание ионов хрома и затем по разности вычисляется содержание ионов Cr(III).

Использование окрашенных сорбционных систем для анализа реальных объектов «на месте» представляет большой практический интерес, но без метрологического обсчета результатов для обеспечения измерений с необходимой и требуемой точностью, они не получили широкого практического применения. Применение полевых фотометров нового поколения позволит оценить, снизить и стабилизировать имеющиеся погрешности, влияющие на достоверность результатов измерений и связанной с этим неопределенности измерений. Известно, что косвенный результат имеет значение, если сопровождается оценкой неопределенности измерения (экспериментально обоснованной погрешности). Без этого на практике нельзя получить количественных, а не полуколичественных, результатов. Нельзя также сравнивать результаты, полученные в разных условиях и с помощью различных средств измерений (СИ) и методов, сопоставить по точности СИ и методики выполнения измерений или оценить достоверность результатов измерений с испытаниями и контролем продукции, например при оценке ее качества. Это становится возможным с использованием соответствующих СИ, позволяющих определять погрешности и оценивать степень достоверности их определения. При этом при работе в полевых условиях к таким СИ предъявляется основное требование – обладать достаточными метрологическими характеристиками при низких эксплуатационных затратах, экономичности, надежности, независимости от изменения внешних факторов: температуры, давления, влажности, вибраций и пыли.

Для достижения необходимых метрологических параметров и улучшения чувствительности методов СДО при определении неорганических ионов в воде разработан малогабаритный цифровой светодиодный минифотометр новой конструкции (рис. 44) [100, 101]. Минифотометр представляет собой усеченный конус (фотометрическая головка), с узкой стороны продолженный цилиндрической частью (корпус). На конической части по кругу расположены излучатели – светодиоды, причем ось пучка излучения каждого светодиода лежит в одной плоскости с осью конуса и пересекается с ней под одинаковым углом для всех светодиодов. При таком геометрическом расположении оси пучков излучения всех светодиодов пересекаются с осью конуса в одной точке, в которую помещается цветная под-

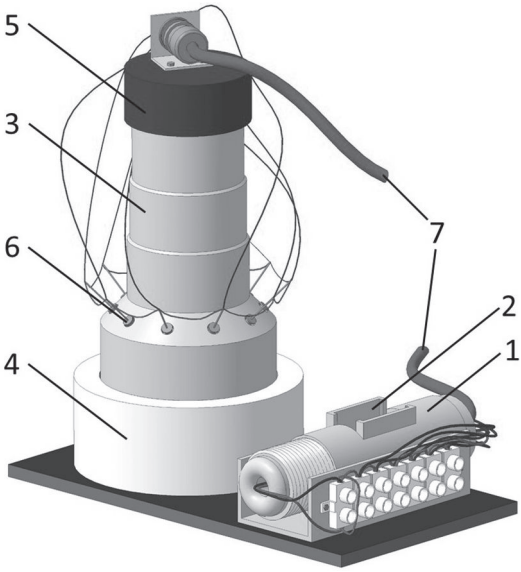

Рис. 44. Светодиодный минифотометр (внешний вид): 1 – корпус устройства измерения пропускания (диодная матрица расположена соосно с детектором); 2 – кюветное отделение; 3 – корпус устройства СДО; 4 – подставка для твердой фазы; 5 – фотодиод; 6 – светодиоды; 7 – провода питания.

ложка. Диффузно отраженный от матрицы свет собирается оптической системой, расположенной в цилиндрической части корпуса фотометра, и фокусируется на чувствительную площадку фотоприемника.

Габаритные размеры: диаметр основания конуса 60 мм; диаметр цилиндрической части 45 мм; длина устройства 95 мм. Масса ~0.3 кг. Использованы светодиоды с длинами волн (нм): 407; 454; 503; 512; 570; 590; 629; 660 и 700. Всего позиций – 12. В приборе использованы светодиоды диаметром 5 мм, выпускаемые многими фирмами. При необходимости они могут быть легко заменены другими для решения новых задач. Полуширина диаграммы направленности излучения каждого светодиода – 18–20°. Угол наклона осей пучков излучения к оси конуса 45°. Основание конуса перекрыто диафрагмой, в центре которой отверстие диаметром 12 мм. К этому отверстию с помощью световой ловушки прижимается исходная (холостая) или цветная матрица (образец).

Рабочее положение прибора – любое. В фотометре отсутствуют светофильтры, не требуется механических перемещений. Это в сочетании с большим сроком службы светодиодов (около 20000 ч) обеспечивает продолжительное время безотказной работы.

Для проверки аналитических возможностей фотометра собран стенд, состоящий из минифотометра, блока питания светодиодов, синхронного нановольтметра, подключенного к выходу фотоприемника, и цифрового вольтметра, сопряженного с персональным компьютером. Постоянная времени нановольтметра – 0.1 с. Частота модуляции питания светодиодов и опорного напряжения нановольтметра – 200 Гц.

Принцип действия минифотометра основан на сравнении потоков отражения от исходного сорбента и потока отражения от окрашенного сорбента с определяемым компонентом. Предварительно проходит калибровка прибора по образцам черной и белой поверхностей. В качестве образца черной поверхности использовали черный бархат, в качестве образца белой поверхности – прессованный оксид магния.

Предложенные методики использованы для оценки состояния окружающей среды, в первую очередь водных объектов. Преимуществами метода СДО на твердой фазе являются применение сорбентов с высокими кинетическими и сорбционными характеристиками, возможность регулирования чувствительности за счет пропускания большого объема раствора, возможность варьирования наполнителя волокна и реагента, условий сорбции и определения, простота сорбции ионов металлов и реагентов на носителе (простым погружением сорбента в раствор или пропусканием раствора через сорбент), простота определений и экспрессность. Для пропускания растворов эффективно использование методов мембранной фильтрации [101, 102].

5.2. Анализ воды. Определение органических веществ

Химическое потребление кислорода (ХПК) – количество кислорода, потребляемое при химическом окислении содержащихся в воде органических и неорганических веществ под действием окислителей (ГОСТ 17403-72). Правила охраны поверхностных вод [103] устанавливают норматив ХПК для водоемов и водотоков в местах хозяйственно-питьевого водопользования – не более 15 мг О/дм^3 и в местах коммунально-бытового водопользования – не более 30 мг О/дм^3. ХПК обязательно входит в перечень контролируемых показателей качества сточных вод предприятий.

Имеющиеся на сегодня химические методы определения ХПК не отвечают современному уровню требований точности и экологичности, т.к. определению ХПК этими методами мешают хлориды, сульфиды, соединения железа(II), марганца(II), нитриты и другие неорганические вещества, способные окисляться дихроматом в кислой среде. Устранение мешающего влияния перечисленных ионов и веществ вносит дополнительные операции в методику, что влияет на продолжительность анализа, на чистоту, т.к. необходимо применение дополнительных реактивов. Нет также четких параметров, позволяющих контролировать полноту окисления при анализе проб неизвестного состава. Поэтому в настоящее время методами определения ХПК являются физико-химические методы с применением современного оборудования и приборов.

Один из таких инструментальных методов – окситермография (окислительная термография). Окситермография – новый высокочувствительный метод определения органических веществ в воде. Этот метод анализа основан на измерении концентрации (содержании) кислорода в потоке газа после его взаимодействия с анализируемым образцом. Температура образца поднимается по заданному закону.

Оценка указывает на возможность регистрировать пики потребления кислорода порядка – $n \cdot 10^{-9}$ г.

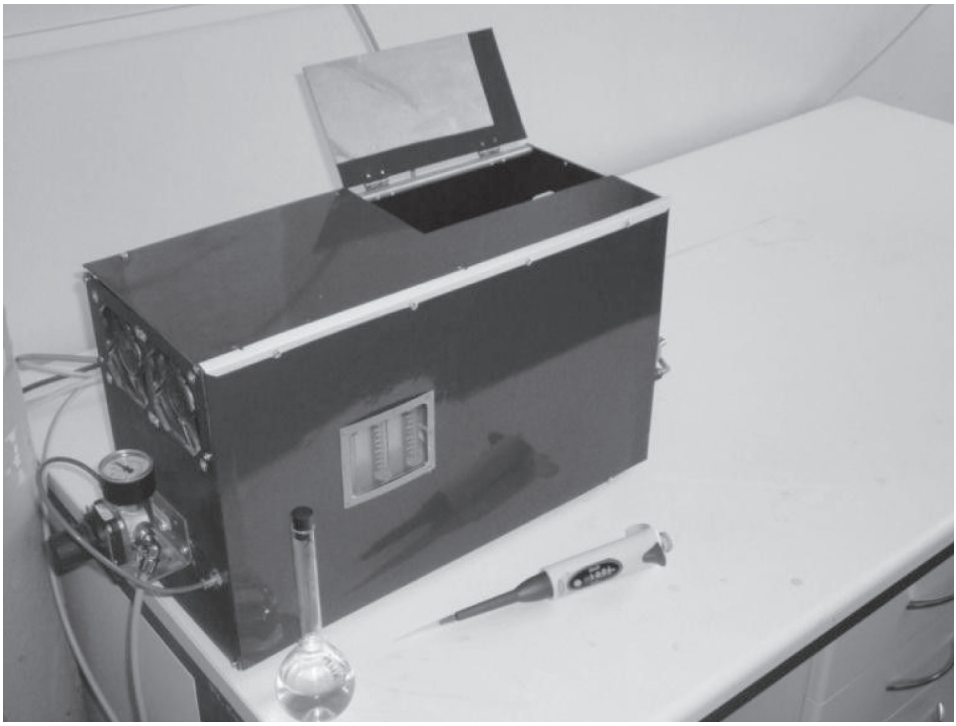

Рис. 45. Внешний вид первого прибора – окситермографа.

Твердоэлектролитный анализатор (окситермограф) представлен на рис. 45.

Результат измерения – химическое потребление кислорода (ХПК), мг О/дм^3.

Метод безреагентный – поэтому экологически безопасный. Метод экспрессный – не требует предварительной пробоподготовки. Метод может быть использован для анализа различных объектов, прежде всего воды и растворов. Метод имеет перспективы дальнейшего совершенствования.

Разработана методика для определения содержания органических веществ в сточных водах в диапазоне от 10 до 500 ед. ХПК [26]. Эта методика широко применяется при оценке загрязнений сточными водами в реках Москвы и МО. Метод окситермографии также позволяет определять тонкие пленки (доли мкм) нефтепродуктов, находящиеся на поверхности воды [104] и содержание органических веществ в снегу, отобранном у автомобильных трасс [105].

5.3. Анализ торфа и почв. Определение органического углерода (общего содержания органического углерода)

В настоящее время актуальным является использование универсальных приборов, позволяющих быстро и качественно определять общее содержание (%) $C_{орг.}$ в твердых образцах (торфе, почвах, грунтах). Одним из таких приборов является твердоэлектролитный анализатор (рис. 46).

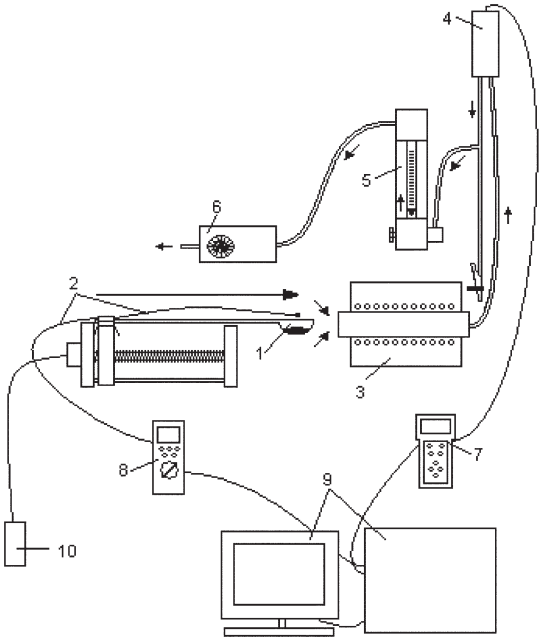

Схема установки:
1. Кварцевая лодочка с образцом навески
2. Термопара
3. Высокотемпературная печь
4. Датчик кислорода
5. Ротаметр
6. Побудитель расхода воздуха
7. Блок регистрации кислорода
8. Мультиметр
9. Персональный компьютер
10. Блок управления шаговым двигателем

Рис. 46. Схема установки окситермографа.

Принцип метода. Предлагаемый метод определения общего содержания органического углерода в почвогрунтах основан на количественном определении молекулярного кислорода, затраченного на высокотемпературное окисление органического вещества в пробе.

С помощью шагового двигателя лодочка с навеской образца почвогрунта отправляется в печь. Через печь происходит непрерывная прокачка воздуха, которая осуществляется с помощью побудителя расхода воздуха. Полученная газовоздушная смесь после печи попадет в газоанализатор, где происходит регистрация кислорода в объемных процентах воздуха. Результаты опыта отображаются в виде кривых на экране компьютера. Аналитическим сигналом является площадь фигуры над пиком (рис. 47), вычисленная с помощью интеграла (G). Продолжительность опыта составляет 3-4 мин.

Важным дополнением данной установки является программное обеспечение, позволяющее производить измерения в многоканальном режиме, т.е. одновременно просматривать содержание кислорода в газовоздушной смеси.

Преимущества окситермографии перед термогравиметрией заключается в низких пределах обнаружения и более высокой чувствительности. Результат анализа получается в виде окситермограммы (рис. 47) – зависимости потребления кислорода от времени температурно-программируемого процесса или от температуры образца в ходе его нагрева и являются характерными для органических и других окисляемых веществ. Важно отметить, что получаемая в ходе регистрации окситермограмма несет информацию о составе органического вещества, являясь своеобразным «отпечатком пальцев», и может использоваться

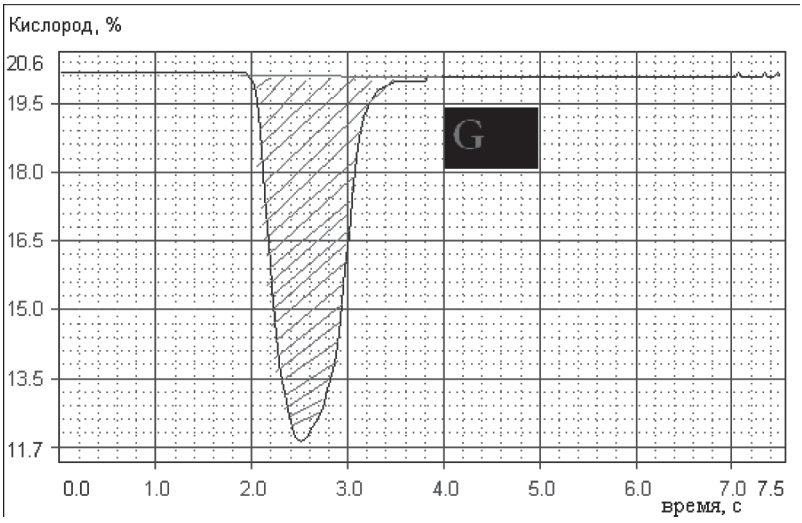

Рис. 47. Пример окситермограммы (аналитический сигнал).

для идентификации органического компонента в исследуемом образце. Результаты представлены в табл. 40. Ниже приведены окситермограммы некоторых природных объектов (рис. 48–51).

Таблица 40. Результаты количественного определения органического углерода, % от сухой массы

Объект	Предлагаемый метод	Метод пиролизной хроматографии
Верховой торф болота Журавлиная родина	34.5	35.6
Переходный торф болота Журавлиная родина	46.9	47.3
Переходный торф болота Изоплит	44.2	43.2
Пиролизный торф болота Галицкий мох	38.5	38.2

Предложенный метод окситермографии позволяет быстро и точно определить состав общего содержания органического углерода в торфе и почвах. Прибор имеет малые размеры, его технические параметры позволяют работать как в лабораториях, так и в полевых условиях. Калибровка прибора по образцу гуминовых кислот наиболее оптимальна для анализа торфа, т.к. ГК максимально соответствуют составу торфа, учитывая природную сложность и большую неоднородность этого объекта.

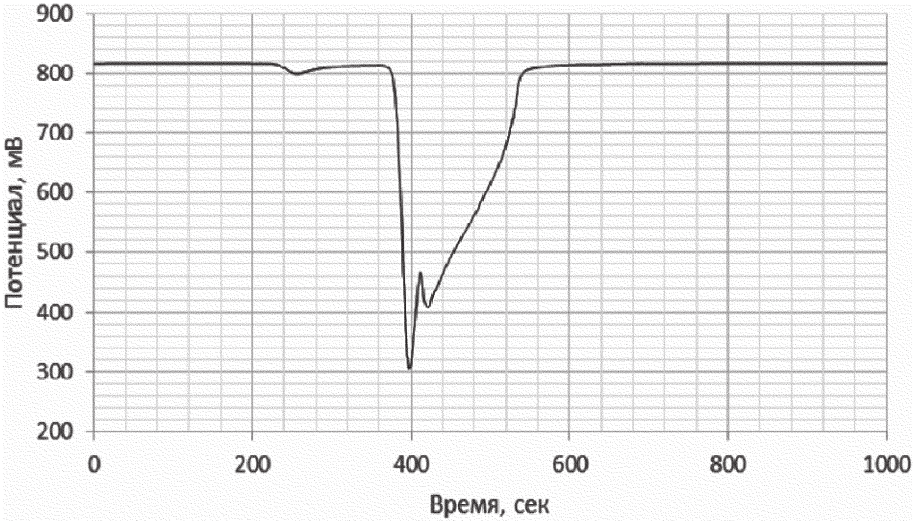

Рис. 48. Окситермограмма верхового торфа из Дубненского массива заказника «Журавлиная Родина».

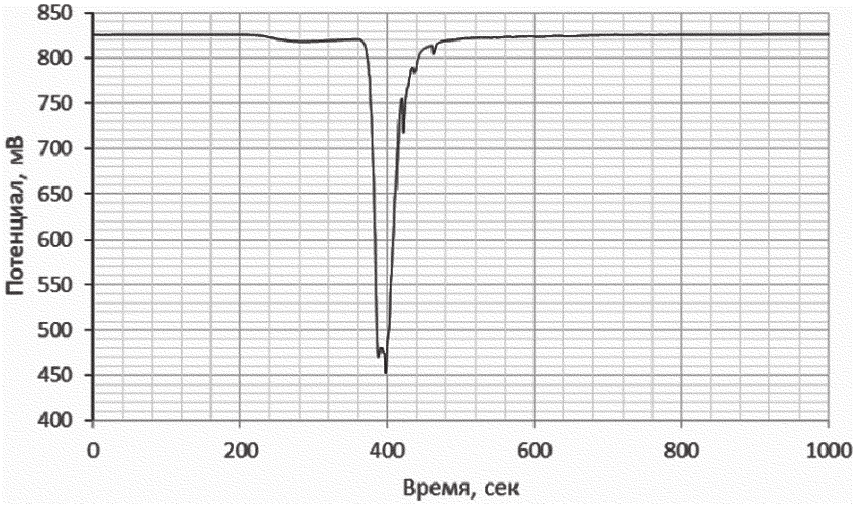

Рис. 49. Окситермограмма мха из Дубненского массива заказника «Журавлиная Родина».

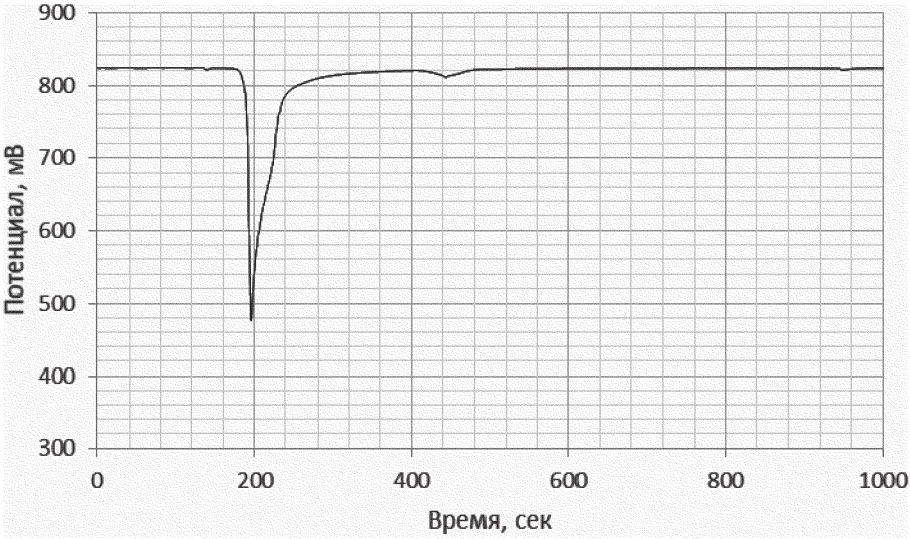

Рис. 50. Окситермограмма торгового препарата гуминовых кислот (завод Биолар), масса ГК = 4.5 мг.

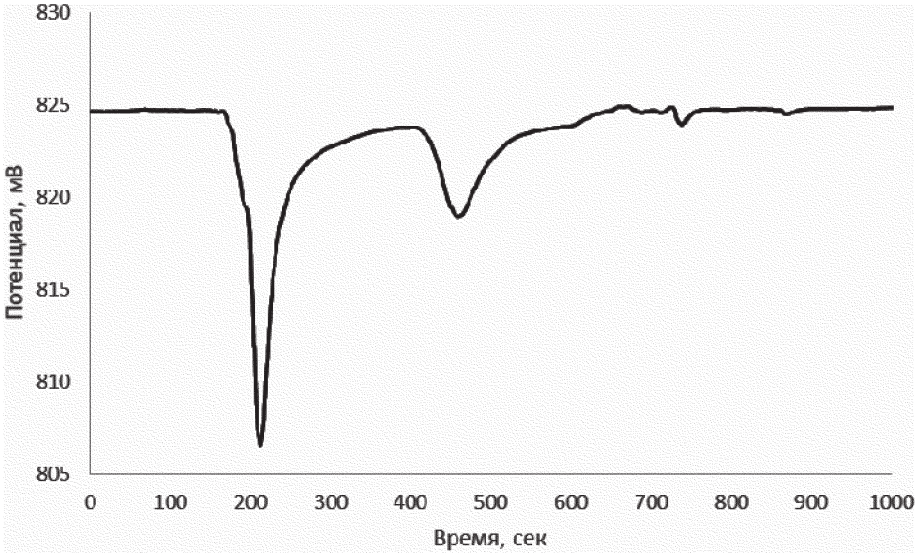

Рис. 51. Окситермограмма почвы (липецкий чернозем), *m* = 10.5 мг.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В книге описано состояние 12 торфяных болот центральных районов России, испытавших интенсивную антропогенную нагрузку – торфоразработки, осушение, обводнение и пожары. В таких условиях восстановление болот происходит далеко не во всех случаях. Авторы провели наблюдения по трансформации болот после пожаров 2010 г. на двух мониторинговых площадках: на болоте Галицкий Мох (в течение 2010-2018 гг.) и на болоте Радовицкий Мох (в течение 2011-2016 гг.). Каждый год летом отбирались пробы торфяной золы, пирогенного торфа и торфа, не претерпевшего термической деградации, для химического анализа и определения изменений физических свойств пород: коэффициента фильтрации, влагоемкости, влажности естественной и гигроскопической, изменения в положении УБВ. Проводились химические анализы болотных вод, наблюдения за восстановлением растительности, изучались изменения в мире микроорганизмов. Наши наблюдения длительностью 5–8 лет показали, что восстановления болот до состояния допожарного периода, не происходит, формируются условия для развития нового типа почв, нового (не болотного) растительного покрова, возникновения новых видов микроорганизмов.

Изучение естественного восстановления верхового болота Шумновское после разработок, прекратившихся в 1956 г., показало, что для его восстановления потребовался временной интервал в 70 (возможно, 100) лет.

Низинные болота НП «Лосиный остров», а также болот разных типов в НП «Мещера» и «Мещерский», подвергшихся интенсивной антропогенной нагрузке в виде торфоразработок и осушения в 1980-х гг., восстанавливаются благодаря мелиоративным работам по затоплению и обводнению. Однако для оценки качества проведенных работ и проверки полноты восстановления требуются долгосрочные многолетние мониторинговые наблюдения.

Обследование современного состояния болот привело авторов к выводу, что в связи со значительной антропогенной нагрузкой в центральной части европейской России на болота, их площадь постоянно сокращается, и первоначальной задачей авторов являлось показать необходимость их сохранения. Россия повторяет путь Западной Европы, где за последние 200-300 лет исчезло 60-90% прежних болот, многие представители флоры и животного мира беднеют с каждым годом.

В последние 30 лет в России создано много заказников, национальных парков, заповедников, главной задачей которых является сохранение растений и животных, внесенных в Красную книгу страны. Из болотных растений – это желтая кувшинка (или кубышка), ирис болотный желтый, белокрыльник болотный, росянка, водяной орех, сон-трава, пузырчатка промежуточная, любка

зеленоцветковая, лютик стелющийся. Охраняемые в МО виды животных – змееяд, речная выдра, выхухоль русская, черный аист, скопа, белокрылая крачка, лесной жаворонок, луговой лунь, серый журавль, веретеница ломкая, обыкновенная гадюка, обыкновенный уж и др.

Авторами была использована книга по болотам [106]. Эта книга – энциклопедия по болотам Западной Европы, где можно найти характеристики исчезнувших и сохраненных болот. В настоящее время в Бельгии существует уникальный природный Заповедник – Высокое болото, где сохраняются некоторые экзотические болотные растения. Надо отметить, что отсутствие болот в Западной Европе в настоящее время привело к изменению путей миграции перелетных птиц. Теперь многие из них летят в теплые края через Белоруссию и Россию.

Сохранение болот, особенно верховых, является важной и непростой задачей, т.к. для обводнения и, следовательно, сохранения этого типа болот требуется соблюдение многих ограничительных условий, касающихся гидрологического режима и качества подаваемой для обводнения воды [49].

Антропогенное воздействие на болота – торфоразработки, осушение и, особенно, торфяные пожары – наносят большой урон болоту, но особенно хочется подчеркнуть урон гидрологическому режиму болот, с которым связано часто само существование малых болотных рек и озер. На Мещерской низменности, в Шатурском и Егорьевском районах имеются примеры исчезновения некоторых малых рек, или уменьшения их расхода, или изменения химического состава речных и озерных вод, влекущих за собой экологические проблемы.

Естественные болота выполняют важную роль в природе. Они депонируют углекислый газ из атмосферы и сокращают эмиссию метана из болота в атмосферу. Нами проведены исследования процессов трансформации парниковых газов за счет деятельности метаногенных бактерий и представлены некоторые соответствующие результаты, связанные с нашими полевыми опытами (на болотах Галицкий Мох, Радовицкий Мох, Шумновское и Тасинское).

Болотные воды в экстремальных условиях можно использовать для питья. Эти воды никогда не содержат значительных концентраций нитратов, аммония, фосфора, калия или металлов, благодаря высоким сорбционным свойствам торфа к большинству загрязняющих веществ. Особенно ценны глубокие озера (до 50 м), встречающиеся на площадях распростаранения болот и ключи, разгружающиеся в болота из глубоких горизонтов подземных вод (например, Мытищинские ключи, за счет которых снабжалась питьевой водой Москва с конца XVIII в. до 30-х гг. XX в.).

Впервые приводится численная математическая модель, позволяющая оценить эффективное использование каналов и открытых водоемов для активного управления уровнем грунтовых вод на межканальных участках болота Журавлиная Родина.

Авторы впервые использовали новый метод определения органического углерода в торфе (на болотах Галицкий Мох, Журавлиная Родина, Ненашкинское), а также провели современными методами определение элементного состава и наличия антибиотиков в торфе болота, используемого в качестве накопителя животноводческих отходов.

Conclusions

This book deals with analysis of 12 boggy areas of the central Russia which were subjected by various anthropogenic impacts such as peat recovery activities, bog drainage, watering, and wildfires. Restoring of wetlands is a time-consuming process. Moreover, in many cases the natural or man-made rehabilitation of bogs do not bring them to the original state. The authors examined the process of bog transformations after wildfires in 2010 on two observation sites, namely, at swamplands Galitsky Mokh (in the period 2010-2018) and Radovitskiy Mokh (during 2011-2016). Every year in summer time we took samples of burned peat, ash and unaffected turf for chemical analysis and specifying their hydraulic parameters such as hydraulic conductivity coefficients, porosity, moisture content etc.

Also the changes of groundwater levels were examined and the dynamics of chemical content of swamp waters was studied. The restitution of vegetation and soil microorganisms was observed either on these two swamplands or on some others. The main conclusion of our studies is the fact that, in most cases, after 5-8 years the affected swamplands do not come to the original state but are transformed to a landscapes with new types of soils and vegetation which are not swamp-like.

According to our observations, the natural rehabilitation to the original state of the upland swamp Shumnovskoe after the termination of peat recovery activities at 1956 takes more than 70 years (probably, 100 years).

Lowland bogs of the national park "Losiny Ostrov", as well as bogs of national parks "Meshchera" and "Meschersky" which were affected by peat recovery activities and drainage measures in 1980-es seem to be regenerating in response to reclamative measures, namely, water-flooding and irrigation. However, the definitive conclusion seems to be premature, so the long-time monitoring of the restitution process is desirable.

The thorough study of the actual conditions on wetlands of Central Russia allows us to conclude that the area of swamps permanently grows down due to anthropogenic impacts. One of the aims of our study is to indicate the importance and necessity of preservation of peat swamps. Actually Russia follows the way of West Europe where in the last 2-3 centuries a considerable part of swamps (up to 60-90%) has been lost.

In the last 30 years Russian Federation set up a considerable number of wildlife reserves, national parks and conservation areas aimed at preservation of plants and animals including but not limited to those which are red-listed in national or regional Red Books. Among protected swampland plants we mention yellow water lily (Núphar lútea), yellow iris (Íris pseudácorus), wild calla (Cālla palústris), sundew (Drósera), water nut (Trápa nátans), mayflower (Anémone pátens), bladderwort (Utricularia), rain orchid (Platanthera chlorantha), buttercup (Ranunculus repens). Preserved animals in swamplands of Central Administrative Okrug are snake eagle (Circaetus ferox), European otter (Lutra lutra), Russian desman (Desmana moschata), black stork (Ciconia nigra), osprey (Pandion haliaetus), white-winged tern

(Chlidonias leucopterus), wood lark (Lullula arborea), Montagu's harrier (Circus pygargus), gray crane (Grus communis), anguine lizard (Anguis fragilis), European northern viper (Vipera berus), water snake (Natrix natrix) and many others.

The authors consider international practices in relation to preservation of swamplands. In this respect we make use of book [106] which is a substantial encyclopedia on preserved and vanished swamps of West Europe. For instance, it describes the experience of wildlife protection at Belgian national reserve «Highland Swamp» where many exotic boggy plants are preserved. It is worth to mention that the significant reduction of swamped landscape in West Europe results in change of traditional routes of migrating birds. Nowadays many of them prefer to fly through Belorussia and Russia.

Preservation of wetlands and more especially of highland swamps turns to be an important and complicated problem because the irrigation and flooding imply strong requirements concerning the hydrological regime of water supply and quality of water [49].

Anthropogenic impacts on swamplands, namely, peat recovery activities, bog drainage and, most of all, wildfires cause damage on wildlife and, what is important, result in changes of the hydrologic regime of boggy aquifers. The last one has overwhelming influence on small swamp rivers and lakes. For instance, in the zone of Meshchera lowland in Shatursky and Egoryevsky districts where intensive peat harvesting is going on some small rivers and lakes has disappeared, the debit of some rivers decreased several times. Also there are many data points indicating changes in chemical constitution of river and lake water. This is followed by serious ecological problems.

Natural swamplands play an important role in the cycling of matter on our planet. They fix atmospheric carbon dioxide and reduce methane emissions from swamps to atmosphere. In this book we examine the processes of greenhouse gas transformation due to activity of methanogenic bacteria and present some corresponding results related to our field researches at swamps Galitsky Mokh, Radovitskiy Mokh and Tasinskoe.

Sometimes, in extreme cases, swamps can be used as a source of drinking water. Bog water never contains significant amount of nitrates, ammonium, phosphorus, potassium and other metals due to high sorption ability of peat with respect to the most of pollutants. Also a valuable resource of portable water is represented by springs and deep lakes with depth up to 50 m which are recharged due to deep artesian aquifers. For example, from the end of XVIII century to the 30-es of XX century Moscow was provided with portable water from Mytischinkie Springs.

An important factor of environment protection on wetlands in populated area is water management and permanent control for water level by means of regulated system of dams, channels and other engineering constructions. In this book we present a mathematical approach to assessment of efficiency of such systems with respect to control for groundwater level at swamp Zhuravlinaya Rodina.

Also the authors used a new method for determining organic carbon in peat (in the bogs of Galitsky Mokh, Zhuravlinaya Rodina, Nenashkinskoye). Also some results of chemical tests including analysis for the presence of antibiotics are presented for peat patterns from a swamp which is used as a reservoir for waste product of live-stock.

Литература

1. *Глухова Т.В., Сирин А.А.* Потери почвенного углерода при пожаре на осушенном лесном верховом болоте // Почвоведение. 2018. № 5. С. 580–588.

2. *Чистотин М.В., Сирин А.А., Дулов Л.Е.* Сезонная динамика эмиссии углекислого газа и метана при осушении болота в Московской области для добычи торфа и сельскохозяйственного использования // Агрохимия. 2006. № 6. С. 54–62.

3. *Ахметьева Н.П., Белова С.Э., Джамалов Р.Г., Куличевская И.С., Лапина Е.Е., Михайлова А.В.* Естественное восстановление болот после пожаров // Водные ресурсы. 2014. Т. 41. № 4. С. 367–374.

4. *Баландин С.А., Березина Н.А., Абрамова Л.И.* Общая ботаника с основами геоботаники. М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. 293 с.

5. *Ахметьева Н.П., Михайлова А.В., Федорова Л.П.* Восстановление растительности и почвенного покрова на начальной стадии зарастания гарей на выработанных торфяниках // Лесоведение. 2018. № 2. С. 119–129.

6. *Атрохин В.Г., Кузнецов Г.В.* Лесоводство. М.: Агропромиздат, 1989. 400 с.

7. *Громцев А.Н.* Динамика коренных таежных лесов Европейской части России при естественных нарушениях / III Всерос. школа-конференция: Актуальные проблемы геоботаники. Петрозаводск: КарНЦ, 2007. С. 283–301.

8. *Корчагин А.А.* Влияние пожаров на растительность и восстановление ее после пожара на европейском севере // Труды БИН АН СССР. Геоботаника. Сер. III. 1954. Вып. 9. С. 75–149.

9. *Пьявченко Н.И.* Лесное болотоведение. Основные вопросы. М.: АН СССР, 1963. 192 с.

10. *Разумовский С.М.* Закономерности динамики биоценозов. М.: Наука, 1981.

11. *Одум Ю.* Экология: В 2-х т. Т. 1. М.: Мир, 1986. 328 с.

12. *Кравец К.Ю.* Определение направления экологии нарушенной болотной экосистемы посредством оценки изменений в фитоценозе / Сб. трудов X Международной научной конференции молодых и талантливых студентов «Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность» М.: ИВП РАН, 2016. 230 с. / Отв. ред. Н.Н. Митина, Секция 5. С. 205–207.

13. *Belova S.E., Kulichevskaya I.S., Dedych S.N., Akhmeteva N.P.* Shifts in a bacterial community composition of a mesotrophic peatland after wildfire // Microbiology. 2014. Vol. 83. № 6. PP. 813–819.

14. *Минаева Т.Ю.* Экологический образовательный маршрут «Галицкий Мох». Российская программа Wetlands International. 2016 г. https://russia.wetlands.org/ru/

15. *Панов В.В., Цымлякова С.С.* Пространственная структура пожаров и гари на техногенно нарушенных торфяных болотах // Известия Русского географического общества. 2013. Т. 145. № 1. С. 80–90.

16. Пилотный проект «Озерецко-Неплюевское». Российская программа Wetlands International. 2017.

[https://russia.wetlands.org/ru/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%8B/pilot-project-rewetting-ozeretsko-nepluevskoe-cutover-peatland/].

17. *Ахметьева Н.П., Лапина Е.Е., Лола М.В.* Экологическое состояние природных вод водосбора Иваньковского водохранилища и пути по сокращению их загрязнения. М.: URSS. 2008. 240 с.

18. *Панкратов Т.А., Белова С.Э., Дедыш С.Н.* Оценка филогенетического разнообразия прокариотных микроорганизмов в сфагновых болотах с использованием метода FISH // Микробиология. 2005. Т. 74. № 6. С. 331–337.

19. *Ахметьева Н.П., Лапина Е.Е.* Восстановление выработанного верхового болота Шумновское (на примере Тверской области). // Всероссийская научная конференция с международным участием. Стационарные исследования лесных и болотных биогеоценозов – экология, продукционный процесс, динамика. Сыктывкар, 2016. С. 29–31.

20. *Муравьева Л.В.* Освоение, антропогенные изменения и современное состояние болотных геосистем Тверской области. Дис. … канд. техн. наук. Тверь, 2011. 143 с.

21. *Беляев А.Ю., Джамалов Р.Г., Кричевец Г.Н., Полякова В.Л., Юшманов И.О.* Эффект гистерезиса сорбции биогенов болотными отложениями // Водные ресурсы. 2005. Т. 32. № 2. С. 206–213.

22. *Зазуля В.Л.* Поглотительная способность торфяников Верхневолжского района // Водные ресурсы. 2006. Т. 33. № 3. С. 357–362.

23. *Ахметьева Н.П., Лапина Е.Е., Кудряшова В.В*. Сорбционные свойства пород зоны аэрации и их роль в защите грунтовых вод от загрязнения (на примере водосбора Иваньковского водохранилища) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2006. № 4. С. 337–341.

24. *Ахметьева Н.П., Лапина Е.Е., Беляев А.Ю.* Торфяные болота – приемники животноводческих стоков // Мелиорация и водное хозяйство. 2008. № 5. С. 24–26.

25. *Ахметьева Н.П., Лапина Е.Е*. Использование торфяных болот в качестве приемника животноводческих стоков / Материалы VII Всероссийской с международным участием научной школы «Болота и биосфера». Болота и биосфера: материалы седьмой Всероссийской с международным участием научной школы (13–15 сентября 2010 г., Томск). Томск: изд-во ТГПУ, 2010. С. 129–130.

26. *Ахметьева Н.П., Лапина Е.Е., Кудряшова В.В.* Сорбция фосфора в торфе низинных и верховых болот // Мелиорация и водное хозяйство. 2011. № 3. С. 26–28.

27. *Краснова Т.А., Амелин В.Г.* Экспресс-способ идентификации остаточных количеств антибиотика в молоке. Метод масс-спектрометрии с матрично-активированной лазерной десорбцией/ионизацией // Молочная промышленность. 2013. № 11. С. 34–36.

28. *Саввин С.Б., Ахметьева Н.П., Михайлова А.В., Ермолаева В.Н., Подколзин И.В*. Редкоземельные элементы в торфах Московской и Тверской областей // ДАН РАН. 2013. № 1. Т. 448. С. 1–3.

29. *Кочиева В.А., Кубалова Л.М.* Лечебное действие неорганических соединений бора // Международный студенческий научный вестник. 2016. № 3–3. С. 460. URL: http://www.eduherald.ru/ru/article/view?id=15104 (дата обращения: 10.01.2020).

30. *Немодрук А.А.* Аналитическая химия мышьяка. М.: Наука, 1976. 244 с.

31. *Швайкова М.Д.* Токсикологическая химия. М.: Медицина, 1975. 276 с.

32. *Гринченко О.С*. Официальный сайт заказника «Журавлиная Родина»/ О.С. Гринченко. Москва, 2016. Электронный ресурс: http://www.craneland.ru/.

33. *Ахметьева Н.П., Беляев А.Ю., Гринченко О.С., Кричевец Г.Н., Кудряшова. В.В., Лапина Е.Е., Михайлова А.В.* Заказник «Журавлиная родина»: современное состояние и охрана от торфяных пожаров на осушенном болоте «Дубнинский массив» // Труды Инсторфа. 2016. № 14 (67). С. 12–21. http://www.instorf.ru/

34. *Ахметьева Н.П., Лапина Е.Е., Кудряшова В.В.* Влажность торфа и возникновение пожаров на болотах // Мелиорация и водное хозяйство. 2014. № 3. С. 26–29.

35. *Ахметьева Н.П., Михайлова А.В., Кричевец Г.Н., Беляев А.Ю.* Трансформация антропогенно нарушенных торфяных болот в новый тип ландшафта в центральных районах европейской части России // Труды Инсторфа. 2019. № 20 (73). С. 3–10.

36. *Фалюшин П.Л., Кашинская Т.Я., Ребров А.В., Куприянов А.И.* Проверка способа прогнозирования склонности торфа к самовозгоранию // Торфяная промышленность. 1986. № 3. С. 20–23.

37. *Беляев А.Ю.* Оценка эффективности мероприятий по обводнению болотных массивов с использованием математической модели / А.Ю. Беляев, Н.П. Ахметьева, Г.Н. Кричевец, А.В. Михайлова // Труды 9 Международной конф. «Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире (ГЕОРИСК–2015)». Москва, 2015. Т. 2. С. 54–59. Электронный ресурс: http://geoenv.ru/index.php/ru/georisk/provedennye-konferentsii.

38. *Беляев А.Ю., Кричевец Г.Н., Ахметьева Н.П.* Методы теории фильтрации в задачах, возникающих при обводнении болотных массивов // Водные ресурсы. 2018. Т. 45. № 4. С. 385–395.

39. *Гринченко О.С., Щербаков А.В., Любезнова Н.В., Кольцов Д.Б.* Эффективность реабилитации экосистем обводненных торфяников на основе анализа динамики растительности и авифауны (Талдомский район Московской области) // Экосистемы: экология и динамика. 2017. Т. 1. № 4. С. 23–39.

40. *Маслов В.И.* 200 лет Екатерининскому Мытищинскому водопроводу. Мытищи: УПЦ «Талант», 2004. 134 с.

41. *Князев Ю.А.* Прошлое земли мытищинской: Селения. События. Судьбы. М.: Интербук, 2001. 239 с.

42. *Клычникова М.А.* Мытищи: путеводитель по городу и району. Мытищи: УПЦ «Талант», 2005. 178 с.

43. *Насимович Ю.А.* Яузское болото – бывшее «Вышневолоцкое» водохранилище. / Научные труды НП «Лосиный остров». М.: ВНИИЛМ, 2009. № 2. С. 122–128.

44. *Злобина В.Л., Киселева В.В.* Геохимическая изменчивость поверхностных и подземных вод на территории национального парка «Лосиный Остров». Научные труды национального парка «Лосиный Остров». М.: ВНИИЛМ, 2009. № 2. С. 4–15.

45. *Ахметьева Н.П., Михайлова А.В.* Пожары 2010–2011 гг. на болоте Радовицкий Мох и их последствия / Сб. «Особо охраняемые природные территории и объекты Владимирской области и сопредельных регионов (Выпуск 2)»: Материалы II Межрегиональной научно-практической конф. «Мониторинг и сохранение особо ценных природных территорий и объектов Владимирской области и сопредельных регионов: проблемы, опыт и перспективы» Владимир: Транзит-ИКС, 2013. 188 с. С. 14–18.

46. *Подколзин И.В., Михайлова А.В., Ахметьева Н.П.* Определение тяжелых металлов в золе торфа методом МС-ИСП / Материалы VIII Всероссийской с международным участием научной школы (10–15. 09.2012) «Болота и биосфера». Томск: изд-во ТГПУ, 2012. С. 229–233.

47. *Крештапова В.Н.* Методические рекомендации по оценке содержания микроэлементов в торфяных месторождениях Европейской части РСФСР. М.: Геолторфразведка, 1974. 200 с.

48. Маршев С.В. Обводнение территорий торфяных болот в Московской области // Журнал «Территория и планирование». 2011. № 4(34). С. 44–53.

http://terraplan.ru/arhiv/58-4-34-2011/1013-686.html

49. *Quinty F., Rocheford L.* Peatland Restoration guide, 2nd ed. Canadian Sphagnum Peat Moss Association and New Brunswick Department of Natural Resources and Energy. Québec, Québec. 2003. 106 p.

50. *Шик Е.М.* и др. Государственная геологическая карта СССР листа N-37-V масштаба 1:200000 с объяснительной запиской. М.: Центргеология, 1981 г.

51. *Ахметьева Н.П., Беляев А.Ю., Джамалов Р.Г., Кричевец Г.Н.* Особенности затопления и подтопления болотных массивов национального парка «Мещера» / Сборник «Особо охраняемые природные территории Владимирской области: современное состояние и перспективы развития» / Материалы юбилейной научно-практической конференции, посвященной 20-летию национального парка «Мещера» Владимирской области (1–13 сентября 2012 г.). Владимир: Калейдоскоп, 2014. С. 160–163. http://www.park-meshera.ru/activity/science/collections/

52. *Данилова О.В., Белова С.Э., Куличевская И.С., Дедыш С.Н.* Снижение активности и изменение структуры метанотрофного сообщества верхового болота в результате пожара // Микробиология. 2015. Т. 84. № 5. С. 546–552.

53. Гидрологические ежегодники:

1964 г. Т. 4. Бассейн Каспийского моря (без Кавказа и Средней Азии). Вып. 1–3. Река Волга и ее бассейн до Куйбышевского водохранилища. Л.: ГИМИЗ, 1968;

1967 и 1968 гг. Т. 4. Бассейн Каспийского моря (без Кавказа и Средней Азии). Вып. 1–3. Река Волга и ее бассейн до Куйбышевского водохранилища. Горький, 1970.

1972 г. Т. 4. Бассейн Каспийского моря (без Кавказа и Средней Азии). Вып. 1–3. Бассейн р. Волга до г. Чебоксары. Бассейн р. Ока. Горький, 1974;

1975 г. Т. 4. Бассейн Каспийского моря (без Кавказа и Средней Азии). Вып. 1–3. Бассейн р. Волга до г. Чебоксары. Бассейн р. Ока. Горький, 1978;

1982 г. Государственный водный кадастр. Раздел 1. Поверхностные воды. Серия 2. Ежегодные данные «Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши». Часть I. Реки и каналы. Т. I. РСФСР. Вып. 23. Бассейн Волги (верхнее течение). Горький, 1984;

1983 г. Государственный водный кадастр. Раздел 1. Поверхностные воды. Серия 2. Ежегодные данные «Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши». Часть I. Реки и каналы. Т. I. РСФСР. Вып. 23. Бассейн Волги (верхнее течение). Горький, 1985;

54. *Бабиков Б.В*. Гидрологическая роль болот и водное питание рек // Лесной журнал. 2018. № 5. С. 37–45.

55. *Булавко А.Г., Маслов Б.С.* Водорегулирующее значение болот и последствия их осушения // Гидротехника и мелиорация. 1988. № 8. С. 53–56.

56. *Голованов А.И., Студенова К.С.* Обоснование противопожарного шлюзования в Мещерской низменности // Природообустройство. 2012. № 5. С. 11–17.

57. Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000 с объяснительной запиской листа O-36-XXVII (составил Г.С. Третьяков). М.: Госгеолтехиздат, 1962. 76 с.

58. Государственная геологическая карта Российской федерации масштаба 1:200 000 с объяснительной запиской листа N-37-II (составили Е.С. Артемьева и Н.С. Лачинова). Серия Московская. СПб., 2001. 130 с.

59. *Нырков Н.А*. По озерам Мытищинского края. М.: Рыбацкая Академия (Арбалет), 2007. 352 с.

60. *Ахметьева Н.П., Беляев А.Ю., Кричевец Г.Н., Лапина Е.Е., Михайлова А.В.* Болотная вода Европейской части России – резерв питьевой воды в чрезвычайных ситуациях // Труды Инсторфа. 2017. № 16 (69). С. 3–10.

61. *Akhmeteva N.P., Simakina Ya.I., Belyaev A.Yu., Krichevets G.N., Solov'ev A.I.* Hydrochemical Features of Boggy River Sources and Lakes in Central European Russia // Water Resources. 2016. Vol. 43. № 1. P. 158–165.

62. *Конихин А.С., Жеребкер А.Я., Казачков М.А., Григорьев А.С., Костюкевич Ю.И., Пеков С.И., Бочаров К.В., Попов И.А., Перминова И.В., Николаев Е.Н.* Исследование молекулярного состава гуминовых веществ угля и торфа при помощи масс-спектрометрии высокого разрешения в условиях оптимального электрораспыления // Известия РАН. Энергетика. 2017. Т. 1. № 1. С. 107–114.

63. *Панов В.В., Мисников О.С.* Тенденции развития торфяной отрасли России // Горный журнал. 2015. № 7. С. 108–112.

64. *Белов Л., Каменнова И., Минаева Т., Сирин А., Третьякова Н.* Сохранение водно-болотных угодий: к 40-летию Рамсарской конвенции // Государственное управление ресурсами. 2012. № 6(84). С. 16–23.

65. *Трунов И.А., Юмашев Н.П.* Почвы Тамбовской области. Мичуринск-Наукоград. РФ: изд-во Мичуринского гос. агр. ун-та, 2006. 216 с.

66. *Ладонин Д.В.* Формы соединений тяжелых металлов в техногенно-загрязненных почвах. Дисс. … д-ра. биол. наук. 2016. 383 с.

67. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. 5 с.

68. Тяжелые металлы в почве и растениях. Электронный ресурс: http://biofile.ru/bio/22393.html

69. *Алексеенко В.А., Алексеенко Л. П.* Биосфера и жизнедеятельность М.: Логос, 2002. 211 с.

70. *Инишева Л.И., Гостищева М.С., Порохина Е.В., Сергеева М.А., Федько И.В.* Большой практикум: Физикохимия, биология и комплексная переработка торфа. Томск: изд-во ТГПУ, 2007. 149 с.

71. *Васильев А.Н., Амелин В.Г.* Исследование индикаторных свойств химических элементов, отвечающих особенностям геохимии сред формирования природных минеральных вод // Георесурсы. 2016. Т. 18. № 2. С. 133–137.

72. *Подколзин И.В.* Сочетание дисперсионной жидкостно-жидкостной микроэкстракции РЗЭ с их определением методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой / Тез. докл. Межд. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2012». М.: МГУ, 2012. С. 56.

73. *Киселева М.С., Тютюнник О.А., Никулин А.Н., Кубракова И.В.* Микроволновая подготовка природных объектов с использованием новых технических решений // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2014. Т. 80. № 6. С. 7–11.

74. *Виноградов А.П.* Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: изд-во АН СССР, 1957. 238 с.

75. *Зейдельман Ф.Р., Шваров А.П.* Пирогенная и гидротермическая деградация торфяных почв, их агроэкология, песчаные культуры земледелия, рекультивация. М.: МГУ, 2002. 165 с.

76. *Зейдельман Ф.Р.* Минеральные и торфяные почвы полесских ландшафтов. М.: изд-во КРАСАНДР, 2012. 419 с.

77. *Антипин В.К., Возбранная А.Е.* Современное состояние болотной биоты национального парка «Мещера» (Владимирская область) // Особо охраняемые природные территории Владимирской области: современное состояние и перспективы развития. Материалы юбилейной науч.-практ. конф., посв. 20-летию национального парка «Мещера» Владимирской области (11–13 сентября 2012 г.). Владимир: изд-во Калейдоскоп, 2014. С. 153–156.

http://www.park-meshera.ru/activity/science/collections/

78. *Возбранная А.Е.* Способы восстановления нарушенных болот в национальном парке «Мещера». Там же. С. 156–160.

79. *Отто М.* Современные методы аналитической химии. Изд. 3-е. / Серия: Мир химии. М.: Техносфера, 2008. 544 с.

80. *Бёккер Ю.* Спектроскопия. М.: Техносфера, 2009. 528 с.

81. *Гречников А.А.* Метод лазерной десорбции/ионизации на поверхности кремниевых материалов для определения органических соединений. Дисс. … д-ра хим. наук. М.: ГЕОХИ РАН, 2019. 318 с.

82. *Юинг Г.* Инструментальные методы химического анализа. М.: Мир, 1989. 608 с.

83. Проблемы аналитической химии. Т. 18. Капилляный электрофорез. М.: Наука, 2014. 444 с.

84. *Шаповалова Е.Н., Пирогова А.В.* Хроматографические методы анализа. М.: МГУ, 2007. 109 с.

85. Inductively coupled plasma mass spectrometry handbook. / Ed. S.M. Nelms. CRC Press: Boca Raton, 2005. 485 p.

86. *Лейкин А.Ю., Якимович В.П.* Системы подавления интерференций в масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. // Журнал аналитической химии. 2012. Т. 67. № 8. С. 752–762.

87. *Пупышев А.А.* Атомно-абсорбционный спектральный анализ. М.: изд-во Техносфера, 2009. 784 с.

88. *Львов Б.В.* Атомно-абсорбционный спектральный анализ. М.: Наука, 1966. 392 с.

89. *Марченко З., Бальцежак М.* Методы спектрофотометрии в УФ и видимой областях в неорганическом анализе. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 711 с.

90. *Зуев Б.К.* Способ окситермографии. Патент РФ на изобретение № 2411509. 2011.

91. *Роговая И.В., Зуев Б.К., Титова Т.В., Моржухина С.В., Сараева А.Е., Филоненко В.Г.* Оптимизация условий определения органического вещества в воде «безреагентным» методом окситермографии и его применение для анализа природной воды // Журнал аналитической химии. 2016. Т. 71. № 10. С. 1069–1074.

92. *Золотов Ю.А., Иванов В.М. Амелин В.Г.* Химические тест-методы анализа. М.: изд-во Едиториал УРСС, 2002. 304 с.

93. *Дедкова В.П., Швоева О.П., Саввин С.Б.* Сорбционно-спектроскопическое определение тория(IV) и урана(VI) реагентом арсеназо III на твердой фазе волокнистого материала, наполненного катионообменником // Журнал аналитической химии. 2008. Т. 63. № 5. С. 474–478.

94. *Тарасова Н.П., Ингель Ф.И., Макарова А.С.* Зеленая химия как инструмент снижения рисков, обусловленных воздействием химически опасных объектов на окружающую среду // Химическая физика. 2015. Т. 34. № 6. С. 5–11.

95. *Дедкова В.П., Швоева О.П., Саввин С.Б.* Сорбционно-спектроскопическое определение La(III) в присутствии U(VI) и Th(IV) реагентом арсеназо М на твердой фазе волокнистых наполненных сорбентов. // Журнал аналитической химии. 2007. Т. 62. № 8. С. 814–818.

96. *Саввин С.Б., Кузнецов В.В., Шереметьев С.И., Михайлова А.В.* Оптические химические сенсоры (микро- и наносистемы) для анализа жидкостей. // Росс. химический журнал (Журнал Российского хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). 2008. Т. LII. № 2. С. 7–16.

97. *Швоева О.П., Дедкова В.П., Гречников А.А.* Комплексообразование тиоционат-ионов с железом(III) на твердой фазе волокнистых ионообменников // Журнал аналитической химии. 2017. Т. 72. № 5. С. 472–475.

98. *Швоева О.П., Дедкова В.П., Гречников А.А.* Цветные реакции ванадия(V) с 8-гидроксихинолин-5-сульфокислотой и аскорбиновой кислотой на дисках ПАНВ-АВ-17 // Журнал аналитической химии. 2017. Т. 72. № 7. С. 628–632.

99. *Швоева О.П., Дедкова В.П., Саввин С.Б., Гречников А.А.* Определение титана(IV) и хрома(VI) на твердой фазе 2,7-дихлорхромотроповой кислотой и 1,5-дифенилкарбазидом // Журнал аналитической химии. 2015. Т. 70. № 8. С. 800.

100. *Симакина Я.И., Кузьмин И.И., Чыонг Т.Х., Фабелинский Ю.И.* Определение марганца(II) методом спектроскопии диффузного отражения. // Тонкие химические технологии / Fine Chemical Technologies. 2017. Т. 12. № 5. С. 47–55.

101. *Кузьмин И.И., Чыонг Т.Х., Симакина Я.И., Михайлова А.В., Фабелинский Ю.И.* Определение ионов меди(II) методом спектроскопии диффузного отражения. // Тонкие химические технологии / Fine Chemical Technologies. 2019. Т. 14. № 2. С. 78–86.

102. *Роговая И.В.* Методы оценки фракционного распределения органических веществ природных вод // Журнал аналитической химии. 2018. Т. 73. № 6. С. 403–416.

103. Правила охраны поверхностных вод (типовое положение). М.: Госкомприроды СССР, 1991. 34 с.

104. *Зуев Б.К., Моржухина С.В.* Окситермография – новый метод определения органического вещества в природных объектах // Вестник МГУ. Серия «Естественные науки». 2009. № 4. С. 47–52.

105. *Зуев Б.К., Филоненко В.Г., Володин В.Д., Травкина А.В., Роговая И.В., Денисова Е.А., Моходоева О.Б.* Метод окситермографии и его применение для исследования влияния загрязнения органических выбросов автомобильного транспорта вблизи трасс с интенсивным движением // Экология урбанизированных территорий. 2013. № 4. С. 127–131.

106. *Manneville O., Vergne V., Villepoux O.* Le Monde Des Tourbieres et Des Marais: France, Suisse, Belgique et Luxembourg. Delachaux & Niestle. 2006. 320 p.

Научное издание

Н.П. Ахметьева, А.В. Михайлова, Г.Н. Кричевец, А.Ю. Беляев

ТОРФЯНЫЕ БОЛОТА ЦЕНТРАЛЬНЫХ ОБЛАСТЕЙ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ: ИХ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 100 ЛЕТ

Дизайн и компьютерная верстка *А.Н. Кураленко*

ООО «Издательство ГЕОС»
129315, Москва, 1-й Амбулаторный пр-д, 7/3-114.
Тел./факс: (495) 959-35-16, (499) 152-19-14, 8-926-222-30-91.
E-mail: geos-books@yandex.ru, www.geos-books.ru
ООО ИПК “Панорама”

Подписано к печати 10.11.2020.
Формат 70×100 1/16. Бумага офсетная.
Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Уч.-изд. л. 15,0.
Тираж 200 экз.

Отпечатано в полном соответствии с представленным электронным оригинал-макетом в ОАО “Альянс “Югполиграфиздат”, ООО ИПК “Панорама”
400001, г. Волгоград, ул. КИМ, 6

Вклейка

Рис. 3. Торфяник Галицкий Мох в августе 2010 г.

Рис. 4. Мониторинговая площадка торфяника Галицкий Мох, сентябрь 2010 г.

Рис. 9. На месте пожара в 2011 г. близ п. Озерки. При сильном ветре высушенный торф изнутри разгорается

Рис. 10. Один из валовых каналов Озерецких торфяников близ пос. Озерки

Рис. 11. Бывшие торфоразработки у п. Изоплит, 2010 г., техника оставлена на поле

Рис. 13. Общий вид верхового болота Шумновское, 2011 г.

Рис. 16. Вид низинного болота Вешка со стороны фермы, август 2010 г.

Рис. 18. Заказник Журавлиная Родина, верховое болото, 2016 г.

Рис. 19. Заказник Журавлиная Родина, низинное болото, 2016 г.

Рис. 23. Водно-болотный комплекс «Лосиный Остров», 14.10.2014 г.

Рис. 25. Радовицкий Мох, общий вид торфяника верхового болота, август 2011 г.

Рис. 26. Торф тлеет под снегом, между поселками Рязановский и Белоомут (https://igorpodgorny.livejournal.com/233740.html)

Рис. 28. Верховое болото Тасинский Бор, сентябрь 2013 г.

Рис. 43. «Судогодский гейзер» у г. Судогда Судогодского района Владимирской области (http://svyato.info/12576-rodnik-sudogodskiy-fontan-u-goroda-sudogda.html)