ОПАСНОСТЬ НЕДОСТОВЕРНОЙ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ВАРИАЦИЙ НА ПИТАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

А.В. Дзюба[1], А.А. Ковалева[2]

[1] Институт водных проблем РАН 119333, г. Москва, ул. Губкина 3. E-mail: avdz@mail.ru.
[2] Геологический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова, 119899 Москва, Ленинские горы 1.

Введение

Пресные подземные воды климатогенны. Ресурсы пресных подземных вод определяются интегралом многолетних значений баланса инфильтрации атмосферных осадков и потерь на испарение. Восполнение ресурсов подземных вод вследствие инфильтрации атмосферных осадков в значительной степени, зависит от температурного режима приземного слоя воздуха и зоны аэрации. Таким образом, ресурсы подземных вод, как и водные ресурсы в целом обусловлены в основном режимом таких климатических переменных, как количество атмосферных осадков и температура приземного слоя воздуха. К тому же только по этим гидрометеорологическим характеристикам имеются однородные многолетние ряды эмпирических данных. Актуальность работы обусловлена отсутствием до настоящего времени среди научного сообщества согласия о пространственно-временных закономерностях влияния современных климатических изменений на подземные воды. Возможно, это объясняется не вполне корректным статистическим описанием многолетних изменений климатических переменных, определяющих питание подземных вод [1,4].

Цель работы – статистически достоверная оценка влияния вариаций климата последних десятилетий на питание подземных вод Восточной Сибири. Выбор региона исследования обусловлен тем, что согласно последнему 5-му Докладу IPCC (Межправительственной группы экспертов по изменению климата), Восточная Сибирь – область суши, наиболее чувствительная к климатическим вариациям последних и ближайших десятилетий [3]. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

– менялся ли климат Восточной Сибири на отрезке времени 1936-2014 гг.;

– являются ли наблюдаемые изменения репрезентативными для исследуемого региона;

– являются ли обнаруженные изменения климатических переменных реальными (действительными);

– является ли тренды 1-го и 2-го порядков в наблюдаемых изменениях статистически значимыми;

– являются ли рассчитанные оценки достоверности трендов неслучайными;

– каково время возобновления подземных вод в рассматриваемом регионе.

Использованные данные и методы исследования

Методика исследования заключается в расчете и анализе оригинального ансамбля статистических оценок, описывающих многолетние изменения климатических переменных, определяющих питание подземных вод. Изменения климата оцениваются как разности климатических переменных, характеризующих сравниваемые периоды времени, и как тенденции изменений климатических переменных внутри одного периода. Обнаруженные изменения климата оцениваются как реальные (соответствующие действительности), если их величина превосходит рассчитанную ошибку величины изменений. В качестве меры интенсивности климатических изменений за указанный интервал времени используются коэффициенты линейного тренда и тренда 2-го порядка, характеризующие среднюю скорость и ускорение изменений климатической переменной. В качестве меры существенности тренда оценивается доля дисперсии климатической переменной, объясняемая трендом, выраженная в процентах от полной дисперсии изменения климатической переменной за рассматриваемый интервал времени (достоверность тренда). Для оценки степени неслучайности определения достоверности тренда рассчитаны 1%-ный и 5%-ный уровни значимости, определяемые по распределению Фишера. Для оценки статистической значимости (полезности) коэффициентов тренда используется 1%-ный и 5%-ный уровни значимости, определяемые по обратному распределению Стьюдента.

В работе использованы данные наблюдений на станциях и постах государственной наблюдательной сети Росгидромета, включенные в базу мониторинга климата Института глобального климата и экологии РАН. Эмпирические данные усреднены по территории климатического региона Восточной Сибири в интервале 1936-2014 гг. Аномалии температуры приземного воздуха и количества атмосферных осадков рассчитаны как отклонения от средних значений за 1961–1990 гг. За единицу измерения атмосферных осадков приняты месячные суммы осадков (мм/месяц). Годовые осадки представляют собой средние из месячных сумм за месяцы рассматриваемого года.

Результаты работы

Температура приземного воздуха. Многолетний ход приземной температуры приземного воздуха (Т) Восточной Сибири (рис. 1а) характеризуется среднеквадратичным отклонением 0,83°С и коэффициентом автокорреляции 0,4. Угловой коэффициент линейного тренда в уравнении тренда (1) равен 0,02°С/год, а стандартная ошибка его расчета менее 0,01°С.

$$T(t) = 0{,}02\ t - 37{,}635, \qquad (1)$$

где T – температура воздуха, соответствующая значению года (t).

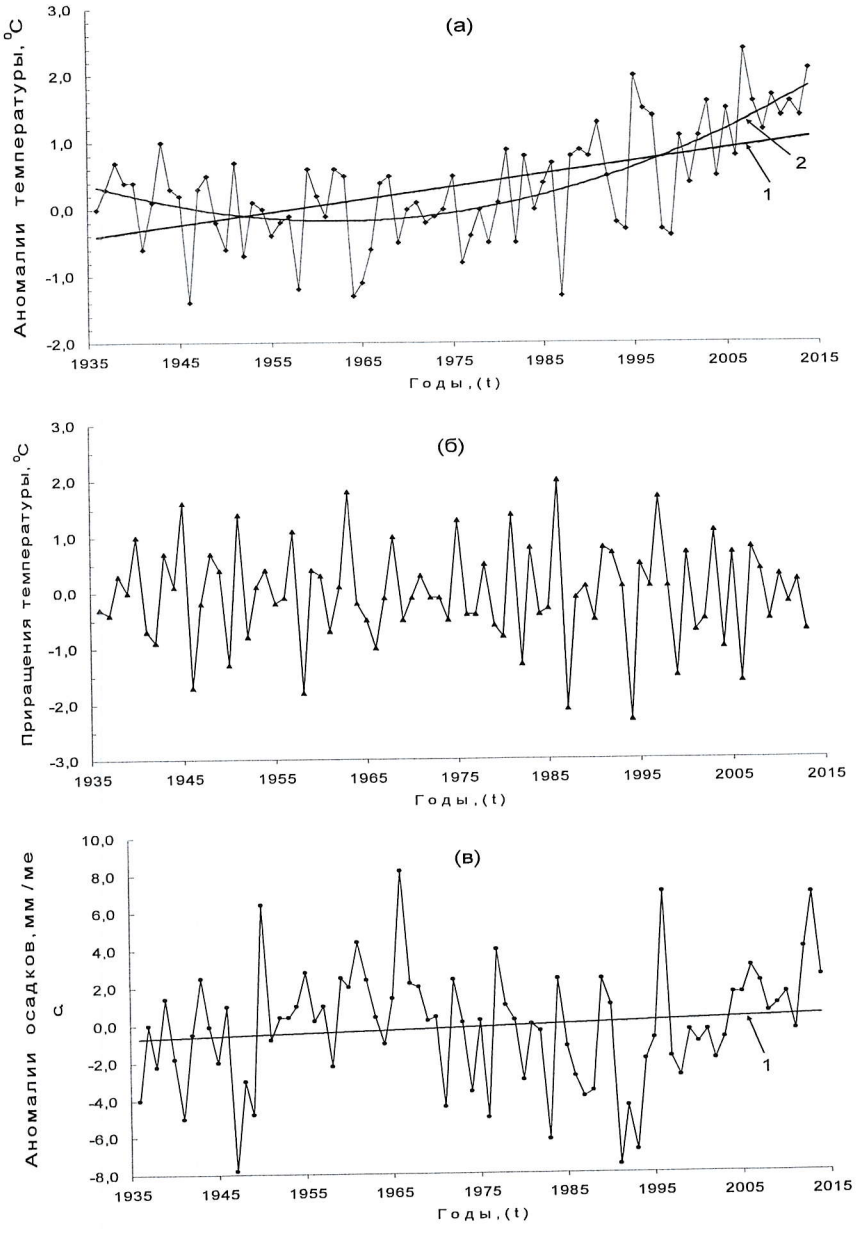

Рис. 1. Многолетние изменения среднегодовых аномалий температуры приземного воздуха (*а*), межгодовых приращений температуры приземного воздуха (*б*), среднегодовые аномалий месячных сумм атмосферных осадков (*в*):
1 – линии трендов 1-го порядка; *2* – линия тренда 2-го порядка

Тестирование полезности коэффициента наклона линейного тренда с использованием обратного распределения Стьюдента показало его статистическую значимость на уровне значимости 99%. При этом, стандартная ошибка определения значений температуры при линейной аппроксимации равна 0,7°С, что сравнимо с величиной среднеквадратичного отклонения. Расчетная достоверность линейного тренда, показывающая вклад тренда в общую дисперсию процесса, составила ~ 28%. Тестирование достоверности тренда с использованием распределения Фишера показало неслучайность полученной оценки на 99% уровне значимости. Графическое представление тренда 2-го порядка в виде вогнутой параболы свидетельствует об ускорении роста температуры воздуха в Восточной Сибири. Удвоенное значение коэффициента при квадратном члене уравнения тренда 2-го порядка (2) характеризует знак и величину ускорения роста температуры во второй половине рассматриваемого периода по отношению к первой половине периода ~ 0,0014°С/год^2. Достоверность тренда 2-го порядка составляет ~ 46%, что значительно больше достоверности линейного тренда.

$$T(t) = 0{,}0007\, t^2 - 2{,}9287\, t + 2873 \qquad (2)$$

Это свидетельствует о нелинейном характере многолетнего хода температуры приземного воздуха в Восточной Сибири.

Анализ межгодовых приращений температуры приземного воздуха в Восточной Сибири (Рис.1б) свидетельствует о стационарности их многолетнего хода в широком смысле. Неизменными остаются не только средние (~ 0°С) значения на разных интервалах, но дисперсия (~ 0,8 °С^2). Это значит, что многолетние изменения температуры приземного воздуха представляют собой винеровский процесс 1-го порядка. Временной ряд температуры воздуха можно считать реализацией процесса авторегрессии 1-го порядка с дискретным временем. Расчеты показали, что оптимальной стохастической моделью для описания многолетнего хода температуры воздуха является модель вида простой марковской цепи, в которой значение временного ряда в данный момент времени может быть выражено в виде линейной комбинации предыдущих значений этого же ряда и случайной ошибки, обладающей свойством «белого шума»:

$$T(t) = \alpha\,(t\text{-}1) + \varepsilon_t, \qquad (3)$$

где α – параметр регрессии, в нашем случае равный ~ 0,4, ε_t – «белый шум» с дисперсией в нашем случае ~ 0,8 °С^2.

Таким образом, для описания многолетних изменений имеющихся к настоящему времени данных наблюдений по температуре приземного воздуха, осредненных по территории Восточной Сибири, статистически обосновано использование как модели тренда 2-го порядка (2), так и стохастической модели авторегрессии 1-го порядка (3).

Атмосферные осадки. Многолетние изменения годовых и сезонных сумм атмосферных осадков, осредненных по территории Восточной Сибири,

не характеризуются статистически значимыми трендами 1-го и 2-го порядков на уровне значимости 99 и 95%. Вклад линейного тренда и тренда 2-го порядка в общую дисперсию временного хода атмосферных осадков не превышает 4%. Для описания многолетних изменений, имеющихся к настоящему времени данных наблюдений по атмосферным осадкам, осредненных по территории Восточной Сибири (рис. 1в), статистически предпочтительно использование модели случайного процесса со среднемесячной дисперсией ~ 10,0 (мм/мес.)^2.

Время возобновления подземных вод. Важной количественной характеристикой пресных подземных вод является период их возобновления, часто называемый в гидрогеологии темпом водообмена, который характеризуется соотношением емкостных запасов оцениваемого водоносного горизонта и его питанием (естественными ресурсами). Согласно оценкам В.П. Зверева [2], время полного возобновления подземных вод зоны активного водообмена составляет величину порядка $n\times10^2$ лет. Время полного возобновления подземных вод зоны сравнительно активного водообмена (выше уровня Мирового океана) составляет величину порядка $n\times10^3$ лет. Учет этих данных предопределяет необходимую длительность рядов гидрометеорологических наблюдений, используемых для анализа влияния вариаций климата на подземные воды.

Заключение

Представим нашу версию ответов на вопросы, поставленные во введении.

– Климат Восточной Сибири в интервале 1936-2014 гг. не был неизменным.

– Исследуемые выборки данных наблюдений по температуре воздуха и количеству атмосферных осадков репрезентативны соответствующим генеральным совокупностям.

– Обнаруженные изменения температуры воздуха реальны, т.к. превосходят стандартную ошибку расчета величины изменений.

– Параметры уравнений трендов 1-го и 2-го порядков в многолетнем ходе температуры воздуха статистически значимы.

– Оценки достоверностей трендов 1-го и 2-го порядков в многолетнем ходе температуры воздуха неслучайны, однако их значения не превышают 50%.

– Обнаруженные изменения количества атмосферных осадков намного меньше стандартной ошибки расчета величины изменений и, следовательно, статистически не достоверны.

– Время полного возобновления подземных вод зоны активного водообмена более чем в два раза превышает максимально доступную в настоящее время длину рядов климатических переменных Восточной Сибири.

Таким образом, полученный ансамбль статистических оценок не свидетельствуют о статистически значимом влиянии климатических вариаций последних десятилетий на естественное питание подземных вод Восточной Сибири. Использование при анализе вариаций климата выборочных статистиче-

ских оценок, а не их ансамбля, порождает опасность формирования статистически недостоверных суждений, приводящих к экономически нерациональным практикам и стратегиям в области управления водными ресурсами.

Литература

1. *Дзюба А.В.* Формализация дальней корреляционной связи североатлантического колебания и температурного режима атлантико-евразийской приполярной зоны // Метеорология и гидрология. 2009. № 5. С. 16-33.

2. *Зверев В.П.* Вода в Земле. М.: Научный мир, 2009.

3. *IPCC.* Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate.: Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013.

4. *Zektser I. S., Dzyuba A. V.* Uncertainties in the assessment of climate change impacts on groundwater // Episodes. 2015. Vol. 38. № 1. P. 49-53.

ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ШЛАМОНАКОПИТЕЛЯ КРУПНОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА СРЕДНЕМ УРАЛЕ

С.Н. Елохина, Е.Д. Еремина

Уральский государственный горный университет, 620144, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30.
E-mail: elohina.s@mail.ru

Геоэкологические проблемы подземной гидросферы связаны, главным образом, с её загрязнением промышленными объектами. Центральное место в указанной проблематике занимает обоснование условий совместного функционирования последних с питьевыми водозаборами, на котором основаны санитарно-эпидемиологические требования по организации зоны санитарной охраны, регламентированные СанПиН 2.1.4.1110-02.

На Среднем Урале имеется положительный пример сосуществования одного из старейших питьевых водозаборов Урала – Мазулинского, который с 1934 г. подает воду для централизованного питьевого водоснабжения г. Каменск-Уральский в объеме от 5 до 8 тыс.м^3/сут, и шламонакопителя станции нейтрализации крупного металлургического предприятия. В результате длительной совместной эксплуатации водный баланс водозабора стабилизировался при допустимом соотношении природной и техногенной составляющей. Принципиальным моментом послужили рекультивационные мероприятия, проведенные на старом и действующем шламонакопителях.

Область питания водозабора представляет собой окраину Западно-Сибирской низменности, в которой осадочные отложения мезозоя мощностью от 10-20 до 30-40 м залегают на уральских структурах фундамента. Во-

ПРЕДПОСЫЛКИ ФОРМИРОВАНИЯ РИСКА КОНТАМИНАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ЗОНЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ

Дзюба А.В., Ковалева А. А..
Институт водных проблем РАН, Москва, Россия,
тел.(499) 1355458, факс.(499) 1355456, e-mail:avdz@mail.ru

PRECONDITIONS OF FORMATION OF CONTAMINATION RISK OF GROUNDWATER IN THE PERMAFROST ZONE

The article considers the physical and biological background risk of contamination of groundwater by viruses and bacteria contained in the permafrost of different ages. Describes the ways and mechanisms of transport of viruses and bacteria, alien to the modern biosphere.

Подземные воды зоны активного и замедленного водообмена подпитываются атмосферными осадками. Поэтому принято считать, что основные загрязнители – механические, химические, биологические, а также тепловое загрязнение поступают в подземные воды сверху (из тропосферы, поверхностных вод, почвы). Механизмы противоположной направленности, т.е. процессы загрязнения почвы, поверхностной гидросферы и атмосферы, когда источником загрязнения служат подземные воды, до настоящего времени не изучены. Предпосылки и последствия перехода бактерий и вирусов из криосферы в подземную гидросферу, а затем в поверхностные воды и атмосферу, а также их региональные и глобальные транспортные коридоры не описаны. Эти неопределенности обуславливают потенциал развития экологических рисков регионального и глобального масштабов. Цель данной работы – описать предпосылки возникновения и механизмы развития глобальной экологической опасности контаминации подземных и поверхностных водных ресурсов чужеродными для современной биосферы вирусами и микроорганизмами.

Физические предпосылки. Арктическая и субполярная зоны – наиболее климатически уязвимая область Земли. В многолетнем ходе температуры приземного воздуха в последние десятилетия в приполярной зоне Северного полушария наблюдаются положительные тренды 1-го и 2-го порядков, превышающие таковые в других широтных зонах [2, 3, 6]. Особенностью Северного полу-

шария является широкое распространение многолетнемерзлых пород на континентах и на шельфе Арктических морей. Общая площадь распространения материковой многолетней мерзлоты в Северном полушарии в настоящее время составляет около 26 млн. км^2. Отмечается сокращение общей площади распространения многолетнемерзлых грунтов [6]. Согласно результатам, полученным с использованием пяти различных долгосрочных прогнозов изменения климата, в ближайшие 25-30 лет площадь многолетней мерзлоты может сократиться на 10% - 18%, а к середине столетия на 15% - 30%, при этом ее граница сместится к северо-востоку на 150 - 200 километров [1]. Глубина сезонного протаивания, в среднем, возрастет на 20% [3], а на Арктическом побережье и в отдельных районах Западной Сибири до 50% [1]. В Западной Сибири (Ямал, Гыдан) температура мерзлых грунтов повысится в среднем на 1,5-2 ^{o}C [1, 3]. В южной периферийной зоне ожидается полная деградация мерзлоты островного распространения.

Биохимические предпосылки. Биологическая активность вирусов проявляется только при наличии гидроксильной группы и в зараженных ими клетках. Существуют две глобальные биохимические формы – клетки, из которых состоит все живое, и вирусы, из которых ничего не состоит, однако они повсюду. До настоящего времени часто при анализе качества природных вод вирусы рассматриваются как разновидность микроорганизмов. С учетом современных биохимических представлений при различных условиях вирусы представляют собой принципиально разные формы существования материи. Вне биосферы вирусы могут рассматриваться, как химические вещества способные сохраняться миллионы лет. В условиях биосферы вирусы приобретают свойства, которые ставят их в один ряд с живыми микроорганизмами.

Криобиосфера – наименее изученная часть биосферы. Новейшие данные свидетельствуют, что мерзлая часть литосферы не является областью биохимического покоя. Эксперименты с радиоактивно мечеными субстратами, показали, что микроорганизмы не только сохраняют жизнеспособность в мерзлоте, но и способны осуществлять метаболические реакции и репарировать нарушения ДНК [4, 7]. Для криолитосферы характерено наличие или отсутствие тончайших пленок незамерзшей воды. В первом случае наличие незамерзших пленок воды обеспечивает существование древних экосистем представленных микроорганизмами с предельно

низкими скоростями биохимических реакций и активными вирусами. Во втором случае в мерзлых толщах имеются только кристаллизованные не активные вирусы, возраст которых соответствует времени формирования мерзлоты. В обоих случаях пространства, внутри которых находятся древние криобионты и палеовирусы, изолированы от окружающей среды до тех пор, пока криолитообразования физически стабильны. Таким образом, криолитосфера является природным банком жизнеспособных палеобиосистем и биологически не активных вирусов. Микроорганизмы и вирусы криолитосферы соответствуют генетическому разнообразию древних экосистем и чужеродны современной биосфере.

Очевидно, что при потеплении климата и оттаивании многолетнемерзлых пород палеобиота и древние вирусы оказываются в первую очередь в подземных водах криолитозоны. При этом криобионты полностью восстанавливают свою физиологическую активность и заново вовлекаются в биохимические процессы. Вирусы, находящиеся в кристаллическом состоянии, присоединяя группу H – OH, приобретают активность, проявляющуюся на следующих этапах: прикрепление вируса к клетке подземного гидробионта, внедрение в нее, латентная стадия, образование нового поколения вирусов. Внутри клетки начинает синтезироваться ДНК или РНК вируса и образуется множество новых вирусов. В результате в подземном биотопе с огромной скоростью образуются новые поколения древних вирусов и генетически измененных литобионтов.

Длительность пребывания мерзлой толщи непрерывно в мерзлом состоянии различна. В основном, в пределах Северной Евразии и Северной Америки она оценивается от 300 тыс. до 1 млн. лет [5]. В районах островной криолитозоны возраст мерзлоты снижается, вероятно, до 10 тыс. лет и менее.

Контаминация подземных вод аллохтонными вирусами способствует вовлечению в экологию вирусов иных хозяев и появлению так называемых «новых-старых» вирусов, свойства которых непредсказуемы как для их прежних хозяев, так и для новых – педо-, терро-, гидро-, и аэробионтов (включая человека).

Схему стадий формирования и развития глобального экологического риска (или, возможно, стресса), представленную на рисунке, можно описать следующим образом: 1 – таяние многолетней

мерзлоты; 2 – проникновение палеобиоты и древних вирусов в подземные воды, переход вирусов из кристалическог в биоло-

Рис. Схема формирования и развития глобального экологического кризиса

гически активное состояние, инфицирование «новыми» вирусами клеток организмов современного биотопа, быстрое размножение «новых вирусов»; 3 – естественная и искусственная разгрузка подземных вод криолитозоны; 4 – попадание палеобиоты и древних вирусов в почву, поверхностную гидросферу и атмосферу; 5 – глобальный транзит палеобиоты и вирусов вследствие процессов об-

шей циркуляции атмосферы и гидросферы; 6 – попадание инфицированных педо-, терра-, гидро- и аэробионтов, а также палеобиоты и древних вирусов на территории вне криолитозоны; 7 – кантоминация подземных вод вне криолитозоны; 8 – ивазионное давление, глобальный экологический стресс, предпосылки развития биотического кризиса.

Реализация рассмотренного сценария – возможно одно из основных негативных последствий наблюдаемого в последние десятилетия глобального потепления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анисимов, О.А., Лавров, С.А.2004. Глобальное потепление и таяние вечной мерзлоты:оценка рисков для производственных обьектов ТЭК //Технологии ТЭК, 2004, (3): С. 78-83.
2. Дзюба А.В. Формализация дальней корреляционной связи североатлантического колебания и температурного режима атлантико-евразийской приполярной зоны //Метеорология и гидрология, 2009, N 5. С. 16-33.
3. Дзюба А.В., Зекцер И.С. Взаимосвязь подземных вод криолитозоны и изменений климата. //Водные ресурсы, 2011, Т. 38, № 1. С. 20 – 29.
4. Шатилович А.В., Шмакова Л.А., Губин С.В., Гиличинский Д.А. Жизнеспособные простейшие в вечной мерзлоте Арктики //Криосфера Земли, 2010, Т. XIV, № 2. С. 69–78.
5. Faizutdinova R., Suzina N., Duda V. et al. Yeasts Isolated from Ancient Permafrost // Life in Ancient Ice. Princeton, Princeton Univ. Press, 2005, ch. 8. P. 118–126.
6. IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. 2013: Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
7. http://www.issp.psn.ru