

АНАЛИЗ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА И РИСКИ ОТ УПОТРЕБЛЕНИЯ РОДНИКОВЫХ ВОД

Булкина К.А., Суслов М.И., Бубнов А.Г., Буймова С.А., Царёв Ю.В.

*ФГБОУ ВО Ивановский государственный химико-технологический
университет*

г. Иваново, Россия

bubag@mail.ru

Во всем мире неудовлетворительное качество водоснабжения из распределительной сети, недостаточный санитарный контроль и гигиена считаются второй после плохого питания серьезнейшей причиной потери потенциально здоровых лет жизни из-за смерти и болезни [4]. Поэтому всё большая часть населения предпочитает употреблять в качестве альтернативного источника питьевой воды – родниковую воду [1]. В связи с этим, цель работы заключалась в следующем:

1) анализ показателей качества родниковых вод с построением контрольных карт (КК) T^2 -Хотеллинга, а также получение регрессионных и корреляционных зависимостей между химическими и физическими показателями от времени для прогнозирования качества родниковой воды;

2) рассчитать и проанализировать показатели риска для здоровья населения г. Иваново от употребления родниковой воды.

Объектами мониторинга и наших исследований являлись 3 родника. Для анализа в пластиковые ёмкости отбирались пробы родниковой воды в соответствии с [2] в объёме 5 л. Мониторинг родников проводился ежемесячно в течение всего периода наблюдений с 2003 по 2015 гг. Контроль качества родниковой воды осуществлялся по следующим показателям: обобщённые, общее содержание металлов, содержание анионов и катионов.

Первым этапом работы являлось проведение регрессионного и корреляционного анализа, а также нахождение парной корреляции между содержанием различных компонентов в родниковой воде г. Иваново. Коэффициенты парной корреляции были рассчитаны по алгоритму [6]. Хотим отметить, что ни одна из построенных регрессий не является статистически значимой. Поэтому, к сожалению, прогнозирование по таким зависимостям не может быть реализовано. В данном случае разумной альтернативой сглаживания временных рядов полиномиальными зависимостями является применение адаптивных моделей в ППП «Statistica».

Вторым этапом работы явился анализ и построение многомерных контрольных карт T^2 -Хотеллинга [3]. Пример анализа такой карты приведён ниже (рис. 1). Выявлено, что за исследуемый период качество родниковой воды находилось в статистически неуправляемом состоянии, отмечено нарушение процесса.

В работе использовались нормативная в России методика оценки риска для здоровья населения [5], и методические подходы для оценки различных экологических рисков, предложенные учёными из Донецкого национального технического университета (ДНТУ) [7]. По [7] рассчитываются верхний и нижний пределы возможных рисков, а по [5] рассчитываются риск развития

длительной (хронической) интоксикации (учитываются вещества с органолептическим и санитарно-токсикологическим лимитирующим признаком вредности (ЛПВ), соединения, обладающие канцерогенными свойствами (NO_3^- , NH_4^+ , Na^+ , Ag^+ , Ni^{2+} , Al^{3+} , $Cu_{общ}$), и риск развития неблагоприятных органолептических эффектов (в расчёте учитываются вещества с органолептическим ЛПВ, а именно Cl^- , SO_4^{2-} , NO_2^- , Zn^{2+} , $Fe_{общ}$, $Mn_{общ}$). Затем была проведена сравнительная характеристика двух подходов путём построения гистограмм, примеры которых представлены на рис. 2-3.

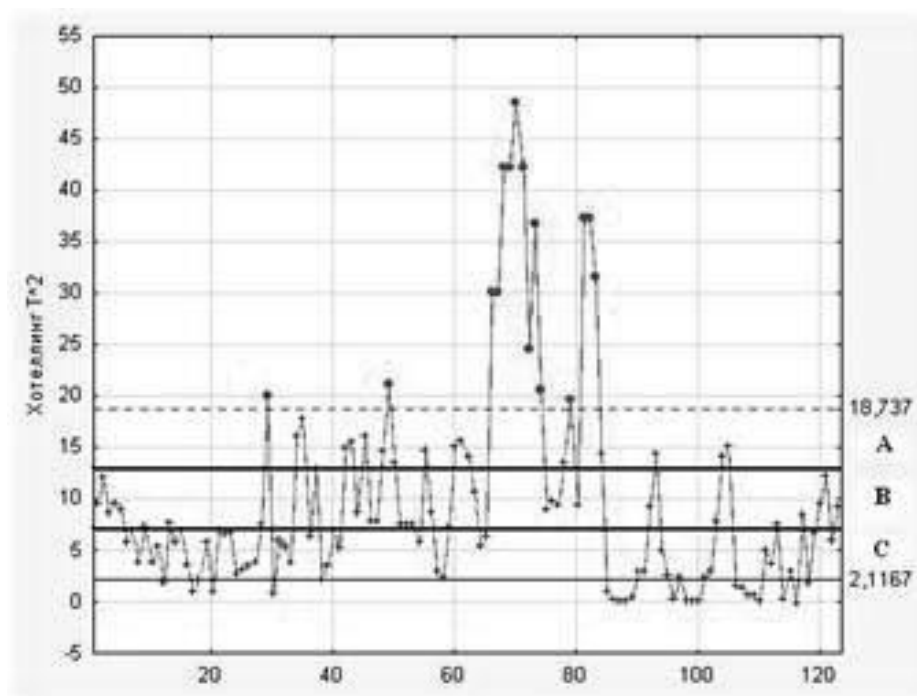


Рис. 1. Контрольная карта T^2 -Хотеллинга учитывающая взаимосвязь общего содержания железа и pH воды в роднике г. Иваново (ул. Челышева)

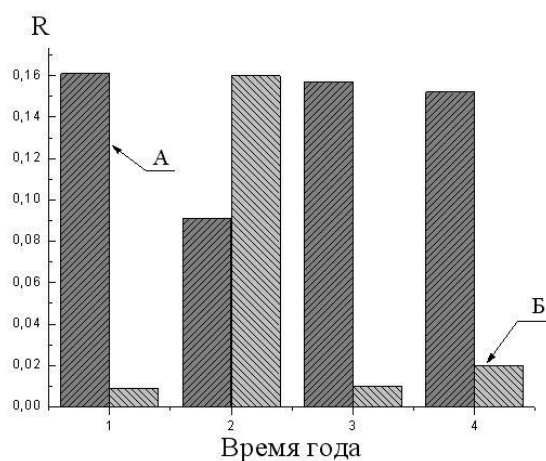


Рис. 2. Гистограмма сравнения полученных значений риска на примере содержания нитратов в 2005г. в г. Иваново, парк «Харинка» при использовании подхода [7] — столбец А и по [5] — столбец Б
1 — зима, 2 — весна, 3 — лето, 4 — осень

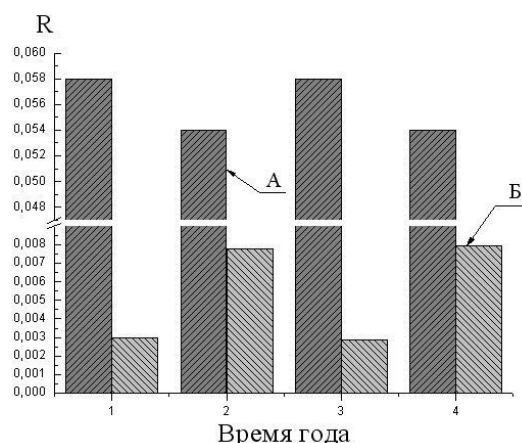


Рис. 3. Гистограмма сравнения полученных значений риска на примере содержания нитратов в 2015г. в г. Иваново, парк «Харинка» при использовании подхода [7] – столбец А и по [5] – столбец Б
1 – зима, 2 – весна, 3 – лето, 4 – осень

Получено, что при расчёте нижней границы возможного риска здоровью, её величина оказалась отрицательной – что невозможно, так как величина риска может находиться только в интервале от 0 до 1. Следовательно, применительно к родниковым водам, не имеет смысла использовать этот подход для расчёта нижней границы риска. Отметим, что наблюдаемое снижение рисков от перорального употребления данных вод не позволяет говорить об их допустимом качестве (сопоставляя величины рисков со шкалой Эшби).

Согласно результатам выполненного анализа можно сделать ряд выводов:

1. В ходе анализа многомерных КК T^2 Хотеллинга на всех графиках были обнаружены систематические скачки осенью 2010 г. и весной 2011 и 2012 гг., связанные с весенним половодьем и осенними паводками (обильным выпадением атмосферных осадков).

2. Использование полиномиальных трендов, описывающих сезонную зависимость содержания различных компонентов от времени, в силу малых объёмов выборок не представляется возможным.

3. Уровни риска, рассчитанные за период 10 лет, начали незначительно падать, что свидетельствует о тенденции улучшения не только качества родниковой воды в объектах мониторинга, но и состояния окружающей родники среды.

Литература

1. Бубнов А.Г. Методика выявления ущерба для здоровья населения из-за употребления родниковой воды. Текст: Бубнов А.Г., Буймова С.А. // Современные наукоёмкие технологии. Региональное приложение. 2012. №3. С. 82-89.
2. ГОСТ Р 31861-2012. Вода. Общие требования к отбору проб.
3. Гребенюк Е.Ю. Применение методов статистического анализа в системе контроля качества продукции на производстве технологического типа. Сб. трудов XII Всерос. совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. 2014. С. 4915-4926.

4. Редникова Т.В. Состояние окружающей среды и здоровье человека. В кн.: Охрана окружающей среды и качество жизни: правовые аспекты. 2011. С. 67-76.
5. Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду (Утверждено первым заместителем Министра здравоохранения РФ, Главным государственным санитарным врачом РФ Г.Г. Онищенко от 5 марта 2004 г.).
6. Суслов М.И. Статистические методы анализа в экологическом мониторинге родниковых вод. Текст: Суслов М.И., Булкина К.А., Бубнов А.Г., Буймова С.А., Царёв Ю.В. // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2016. №1 (45). С. 107-115.
7. Звягинцева А.В. Оцінка екологічних ризиків при забрудненні водних об'єктів (на прикладі рік та водоймищ донецької області) // Вісник Донецького університету. Серія природничі науки. 2007. №2. С. 330-337.

ОЦЕНКА АССИМИЛИРУЮЩЕГО ПОТЕНЦИАЛА Р. КАМЫ В ЗОНЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПАО «УРАЛКАЛИЙ» ДЛЯ РЕГУЛИРУЕМОГО ОТВЕДЕНИЯ СТОЧНЫХ ВОД

Богомолов А.В.¹, Губернаторова Т.Н.²

¹*ФГБУН Горный институт Уральского отделения РАН*

Пермь, Россия

whitewing85@mail.ru

²*ФГБУН Институт водных проблем РАН*

Москва, Россия

tatiana.ivp.ran@gmail.com

Для оценки ассимилирующего потенциала водных объектов (р. Кама, Камского вдрх.) в зоне деятельности ПАО «Уралкалий» для регулируемого отведения в них сточных вод были рассмотрены и проанализированы характеристики гидрологического и гидрохимического режима водных объектов, выполнен расчет среднегодовых, максимальных, минимальных показателей. Ассимилирующей способностью водного объекта называется способность водного объекта принимать определенную массу веществ в единицу времени без нарушения норм качества воды в контролируемом створе или пункте водопользования [1]. Сброс сточных вод с предприятий ПАО «Уралкалий» в р. Каму (Камское водохранилище) в настоящее время ведется в двух местах: в районе г. Соликамска (рядом с устьем р. Черной) – выпуск № О1 и по Промканалу (бывший устьевой участок русла р. Зырянки) через ООО «Промстоки» г. Березники.

В первую очередь были рассчитаны потенциальные объемы загрязняющих веществ, которые рассматриваемый водный объект (р. Кама – Камское водохранилище) может принять за весь год. Расчет производился по формуле:

$$W_{зв i} = \bar{Q} (C_{пдк i} - C_{фи}) \cdot 31,536 \cdot 10^{-3} \text{ (тыс. т/год)}, \quad (1)$$

где $W_{зв i}$ – масса i -го загрязняющего вещества, который рассматриваемый водный объект может ассимилировать за весь год;

\bar{Q} – среднегодовой расход воды в рассматриваемом водном объекте;

$C_{пдк\ i}$ – предельно допустимая концентрация i -го загрязняющего вещества;
 $C_{ф\ i}$ – фоновая концентрация i -го загрязняющего вещества.

По результатам произведенных расчетов, и как показывает последующий анализ, ассимилирующая способность р. Камы при продвижении вниз по течению в пределах Соликамско-Березниковского промузла по одним загрязняющим веществам уменьшается (хлориды), по другим – практически не меняется (минерализация, нефтепродукты), по третьим – даже незначительно увеличивается (магний, сульфаты, кальций). Уменьшение ассимилирующей способности происходит по причине разгрузки в р. Каму малых рек, протекающих по территории Верхнекамского месторождения калийных и магниевых солей (ВКМКС), имеющих повышенные концентрации хлоридов и других сопутствующих разработке месторождения ингредиентов, как в результате сбросов сточных вод предприятий, так и косвенного стимулирования естественных источников. Неизменность и даже небольшое уменьшение содержания отдельных ингредиентов (увеличение ассимилирующей способности) объясняется увеличением водности р. Камы за счет впадения правобережных притоков, где влияние ВКМКС отсутствует или незначительно.

Так, р. Кама (Камское водохранилище) может успешно ассимилировать магний (до 800 тыс. т/год), сульфаты (до 1,8 млн. т/год до г. Березники и 1,6 млн. т/год ниже города) и кальций (соответственно, до 3,5 и 3,4 млн. т/год) даже в самые маловодные годы. Что касается макрокомпонентов в сбросах высокоминерализованных стоков (хлоридов, калия, натрия, магния) и общей минерализации, то потенциальная вместимость р. Камы достаточно велика только в поверхностном слое: до 9 (7 ниже г. Березники) млн. т/год хлоридов и до 27 (24 ниже города) млн. т/год по общей массе загрязняющих веществ в средние по водности годы, и до 6 (4) млн. т/год хлоридов и до 19 (17) млн. т/год по общей массе загрязняющих веществ даже в самые маловодные годы. Ассимиляция нефтепродуктов в р. Каме достигает только в многоводные годы около 370 (410) т/год. В результате анализа выявлено, что в придонных слоях наблюдается существенная концентрация загрязняющих веществ, поэтому в маловодные годы потенциальная ассимилирующая способность р. Камы в придонных слоях резко падает по минерализации и хлоридам, начиная с лет 70% обеспеченности, по кальцию – с лет 80% обеспеченности.

В очень маловодные годы (более 95% обеспеченности) ассимиляции загрязняющих веществ р. Камой в придонном слое не происходит. В средние маловодные годы (с годовым стоком более 75% обеспеченности), р. Кама в придонном слое не может ассимилировать хлориды, а возможно и другие сопутствующие ингредиенты, по которым наблюдения Пермский ЦГМС не проводит. Зато по сульфатам резкого уменьшения ассимилирующей способности в придонном слое не наблюдается. У нефтепродуктов, наоборот, ассимилирующая способность в придонном слое увеличивается, так как нефтепродукты, естественно, концентрируются на поверхности воды. Так как, для р. Камы характерна существенная внутригодовая неравномерность стока, была рассмотрена возможность организации регулируемого сброса сточных

вод в зависимости от гидрологического и гидрохимического режима водного объекта. Формально при наличии регулируемой емкости, способной аккумулировать сбрасываемые стоки в течение достаточно длительного промежутка времени, можно выделить два предельных типа регулируемого (управляемого) сброса:

1-й тип – жесткое регулирование в зависимости от гидрологического и гидрохимического режима водотока-приемника в строгом соответствии с условием:

$$\left(\frac{C_{сбi}}{C_{ПДК i}} \leq 1 \right);$$

2-й тип – сброс с некоторым постоянным расходом в течение определенного периода T , ориентированный на минимальный месячный расход с обеспеченностью 95% за рассматриваемый период T . При этом единственным регулируемым параметром является априорно устанавливаемая продолжительность сброса T во время прохождения высоких расходов воды.

Для 1-го типа регулирования были рассчитаны потенциальные объемы загрязняющих веществ, которые р. Кама может принять за сутки по данным наблюдаемых гидрохимических проб и расходов воды в день отбора пробы. Результаты расчетов для р. Камы в створах ниже г. Соликамска и ниже г. Березники представлены на рис. 1-2.

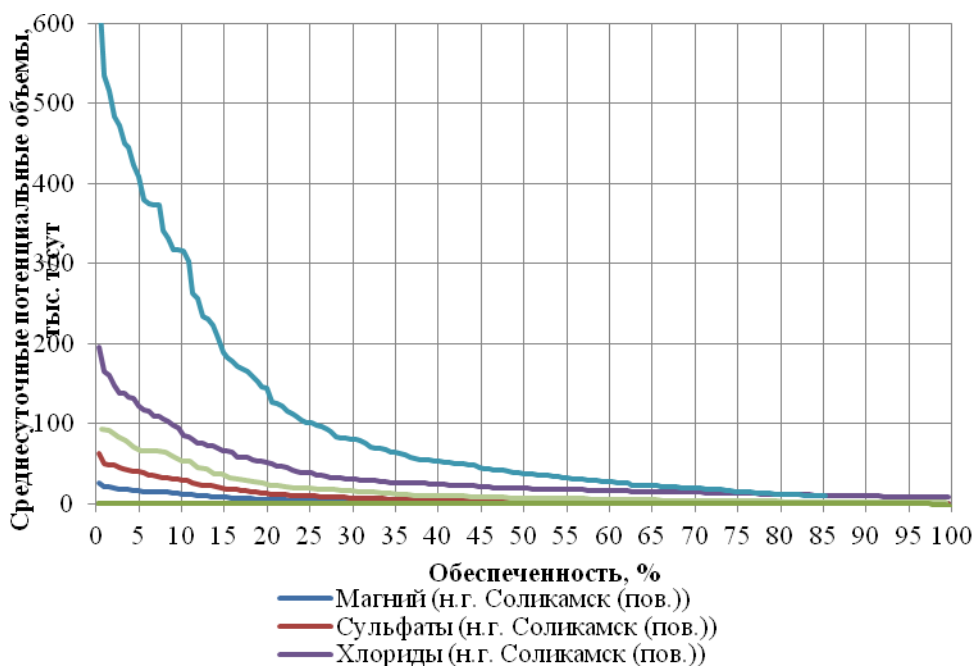


Рис. 1. Потенциальная емкость 3В в створе р. Кама – ниже г. Соликамска в зависимости от обеспеченности среднесуточного расхода воды

Для 2-го типа регулирования были рассчитаны потенциальные объемы загрязняющих веществ, которые рассматриваемые водные объекты могут принять за каждый месяц в течение года. Расчет производился по формуле:

$$W_{зв\,ij} = \bar{Q}_j (C_{ПДК\,i} - C_{ф\,ij}) \cdot N_j \cdot 86400 \cdot 10^{-6} \text{ (т/месяц)}, \quad (2)$$

где $W_{зв\,ij}$ – объем i -го загрязняющего вещества, который рассматриваемый водный объект может ассимилировать за j -й месяц;

\bar{Q}_j – средний расход воды в рассматриваемом водном объекте за j -й месяц;

$C_{ПДК\,i}$ – предельно допустимая концентрация i -го загрязняющего вещества;

$C_{ф\,ij}$ – фоновая концентрация i -го загрязняющего вещества в j -ом месяце;

N_j – число дней в j -ом месяце.

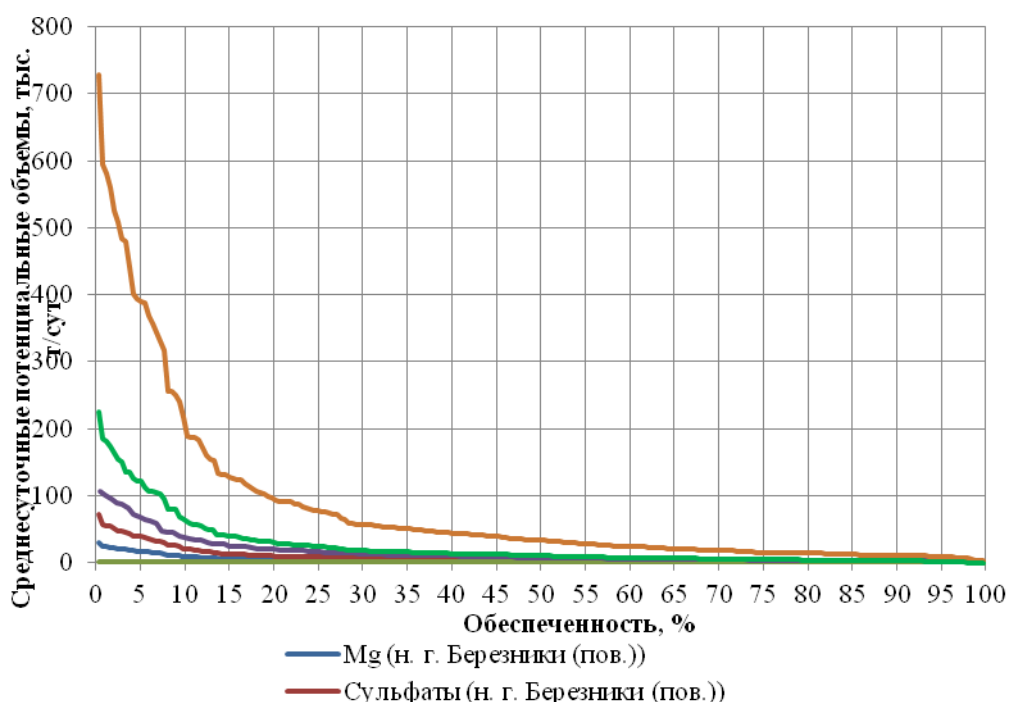


Рис. 2. Потенциальная вместимость ЗВ в р. Каме в районе д. Огурдино в зависимости от обеспеченности среднесуточного расхода воды

Концентрации рассчитывались как средние по данным наблюдаемых гидрохимических проб в определенном месяце за весь период наблюдений, а расходы брали как среднемесячные 50% и 95% обеспеченности за весь период гидрологических наблюдений.

Большой интерес в случае организации регулируемого сброса представляет также потенциальная вместимость водным объектом загрязняющих веществ, если их сбрасывать только в период весеннего половодья. Этот тип регулирования схож со вторым из вышеперечисленных, однако не требует строгого слежения за водностью водотока-приемника в течение всех месяцев года, а устанавливаемая продолжительность сброса T равна продолжительности весеннего половодья.

Для этого типа регулирования также были рассчитаны потенциальные объемы загрязняющих веществ, которые р. Кама может принять за период весеннего половодья. Формула для расчета имеет следующий вид:

$$W_{зв\ ij} = W_j (C_{ПДК\ i} - C_{фij}) \cdot 10^{-3} \quad (\text{тыс. т}), \quad (3)$$

где $W_{зв\ ij}$ – объем i -го загрязняющего вещества, который рассматриваемый водный объект может ассимилировать за период половодья j -го года;

W_j – объем воды за период половодья j -го года в рассматриваемом водном объекте;

$C_{ПДК\ i}$ – предельно допустимая концентрация i -го загрязняющего вещества;

$C_{фij}$ – фоновая концентрация i -го загрязняющего вещества за период половодья j -го года.

При этом, концентрации рассчитывались как средние по данным наблюдаемых гидрохимических проб в период весеннего половодья за весь период наблюдений. Результаты расчетов для р. Камы в створе ниже г. Соликамска и в створе д. Огурдино представлены на рис. 3 и 4 соответственно.

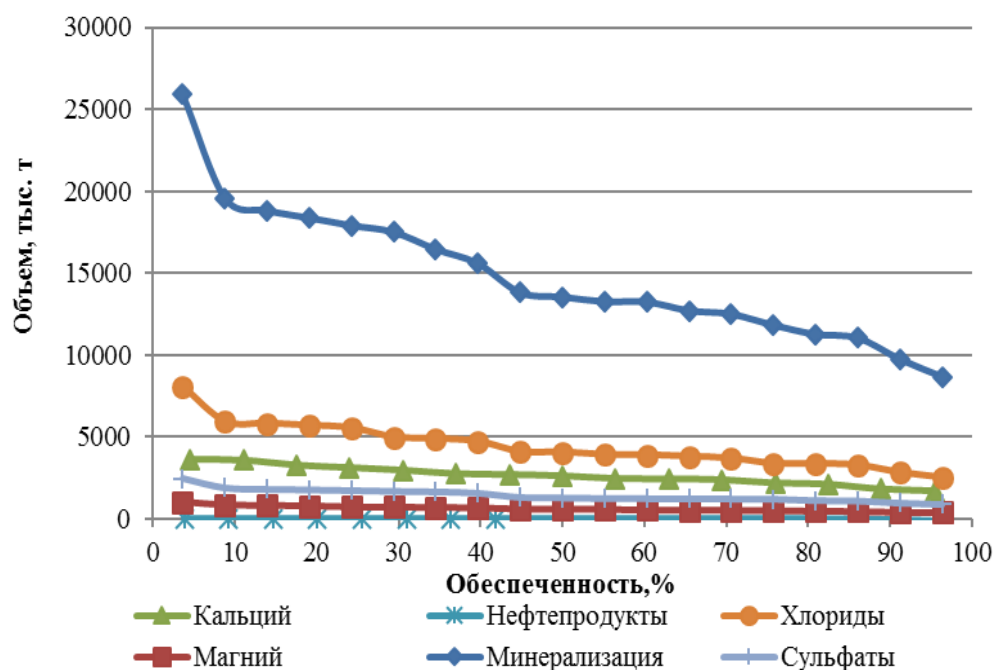


Рис. 3. Кривая распределения ассимилирующей способности р. Кама (Камского водохранилища) в створе ниже г. Соликамска в период половодья

Анализ произведенных расчетов показывает, что ассимилирующая способность р. Камы в течение года неравномерна. Больше всего загрязняющих веществ можно сбросить в период весеннего половодья, меньше всего – в период зимней межени. Нефтепродукты не подлежат сбросу ни в один из месяцев для данного водного объекта.

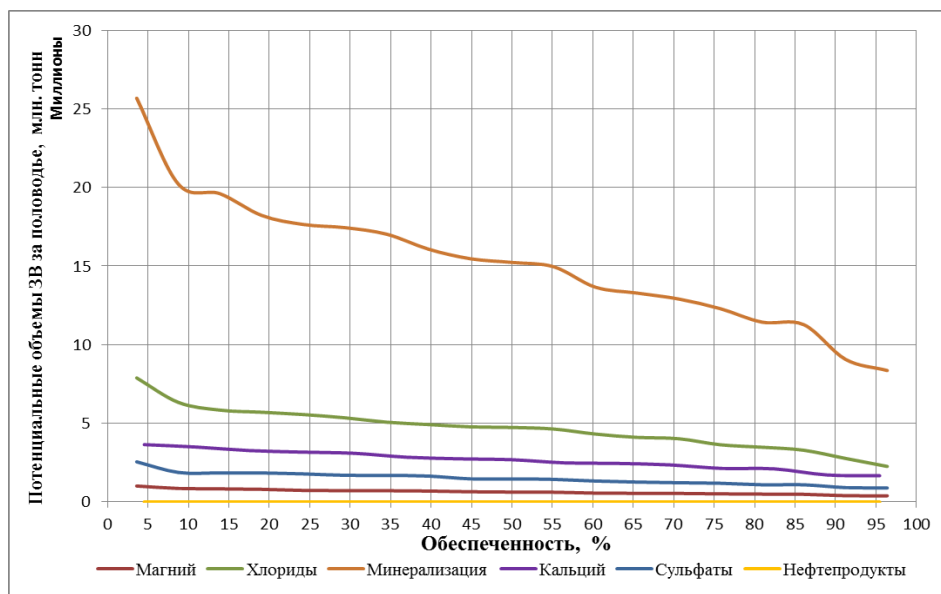


Рис. 4. Кривая распределения ассимилирующей способности р. Кама (Камского водохранилища) в районе с. Орел (Огурдино)

Литература

1. ГОСТ 17.1.1.01-77. Охрана природы. Гидросфера. Использование и охрана вод. Основные термины и определения.
2. Отчет о научно-исследовательской работе «Эколого-экономическое обоснование целесообразности регулируемого сброса для ПАО «Уралкалий»» по договору № 1623/2016/51 от 06.05.2016 г. С Публичным акционерным обществом «Уралкалий». Изд-во ИВП РАН, 2016. 220 с.

ОСОБЕННОСТИ КОРРЕКТИРОВКИ ЗНАЧЕНИЙ НДС ПРИ ВОДООТВЕДЕНИИ СТОЧНЫХ ВОД В КРУПНЫЕ ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ ЧЕРЕЗ МАЛЫЕ ВОДОТОКИ, ИСПОЛЪЗУЕМЫЕ В КАЧЕСТВЕ КАНАЛОВ ТРАНСПОРТИРОВКИ, НА ПРИМЕРЕ ПАО «УРАЛКАЛИЙ».

Губернаторова Т.Н.¹, Богомолов А.В.²

¹ФГБУН Институт водных проблем РАН

Москва, Россия

tatiana.ivp.ran@gmail.com

²ФГБУН Горный институт Уральского отделения РАН

Пермь, Россия

whitewing85@mail.ru

В настоящее время нормативы допустимых сбросов (НДС) устанавливаются согласно действующей «Методике разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей» [1], которая содержит ряд существенных недостатков. Чтобы повысить эффективность разработки НДС для водопользователей необходимо эти недостатки учитывать. Так, в Методике [1] не предусмотрен

практический учет внутригодовой, межгодовой изменчивости стока на фоне современной тенденции изменения климата, при разработке режимов регулируемого или нерегулируемого отведения сточных вод. Отметим, что данные корректировки не нарушают базовых положений действующей Методики [1], не требуется внесения изменений в [1]. Требуются лишь соответствующие комментарии и (или) дополнения к [1].

Один из наиболее практически важных вопросов по разработке НДС заключается в следующем: когда водоотведение производится в малые притоки крупных водных объектов. В настоящее время формально не делается различий между понятием «водный объект» - максимально широкое определение, которого дается в действующем Водном кодексе (статья 1), и «охраняемым водным объектом», которое имеется в Методике [1]. В то же время крупные лужи также подпадают под определение «водный объект», хотя не могут быть охраняемыми объектами.

Некоторые малые водотоки в настоящее время являются транспортными каналами сточных вод, особенно в районах крупных промышленных комплексов. Например, отведение сточных вод Люберецких очистных сооружений (3 млн. куб. м в сутки; с конца 2007г.; поступление сточных вод осуществляется только через выпуск № 3) производится в малую р. Пехорку, где расход реки в среднем увеличивается в 10 раз после водоотведения. Доля очищенных сточных вод в общем расходе реки составляет более 90%. Изменение статуса этой реки не производилось, контроль осуществляется исходя из установленных нормативов для водоемов рыбохозяйственного назначения.

Современные изменения климата в первую очередь отражаются на величине минимального зимнего стока, который является лимитирующим фактором при разработке нормативов НДС. Имеется ряд исследований [2-4], где показано, что за последние четверть века произошло увеличение средних зимних температур воздуха, вследствие чего наблюдается существенное увеличение минимального зимнего стока. Так в р. Кама он увеличился примерно на 20%. В то же время территориальные органы Росгидромета оставляют неизменными расчетные значения минимальных расходов воды. Учет изменившихся значений минимальных расходов позволил бы значительно снизить расчетные экологические нагрузки на водные объекты и соответственно увеличить расчетные нормативы сброса НДС.

С использованием методов математического моделирования, на основе реальных гидрологических и гидрохимических характеристик, в том числе статистических характеристик межгодовой и внутригодовой изменчивости стока, фоновых характеристик нормируемых компонентов, морфометрических показателей, технологических характеристик шламохранилищ в зоне отведения сточных вод ПАО «Уралкалий», произведен расчет НДС для регулируемого сброса сточных вод, включая дренажные воды, очищенные сточные воды БОС, ливневые стоки с использованием малых водотоков в качестве каналов транспортировки сточных вод ПАО «Уралкалий». Оценка НДС выполнена для различных гидрологических условий и водовыпусков такого рода сточных вод на

примере крупного промышленного предприятия по переработки калийно-магневых руд ПАО «Уралкалий». Для этих целей был произведен сбор и анализ гидрологических, гидрохимических и морфологических характеристик водных объектов в зоне деятельности предприятий ПАО «Уралкалий», с предварительным анализом схем отведения сточных вод ПАО «Уралкалий».

С учетом методики расчета региональных показателей качества, которая была разработана в [5], установлены приоритетные показатели качества воды, которыми стали минерализация и содержание ионов калия, натрия и хлоридов. Эти показатели использовались для последующих расчетов НДС для регулируемого сброса сточных вод, включая дренажные сточные воды, очищенные сточные воды БОС (использовались при расчетах НДС в качестве разбавляющих стоков), ливневые стоки с использованием малых водотоков в качестве каналов транспортировки сточных вод ПАО «Уралкалий». Обоснованы и откорректированы расчетные значения минимальных расходов воды в водотоках – приемниках сточных вод, лимитирующих установление НДС.

Огромное значение для решения поставленной задачи – наиболее эффективного отведения высокоминерализованных сточных вод – представляло собой, в первую очередь, установление существенного увеличения зимнего минимального расхода р. Камы. Так, по материалам наблюдений территориального органа Росгидромета за период 1881–1975 гг. величина минимального расхода года 95% обеспеченности составляла ~ 138 м³/сек, с 1976г. по настоящее время эта величина составляет ~ 160 м³/сек. При этом, в расчетах, как правило, используется первая величина. Данное увеличение минимального стока имеет весьма существенное значение для разработки регламента отведения сточных вод.

Произведена эколого-экономическая оценка вариантов сброса посредством сопоставления действующих и разработанных значений НДС с расчетом и сопоставлением платежей за негативное воздействие на окружающую среду за сбросы загрязняющих веществ в водные объекты. Расчеты произведены с учетом вступления в силу нового постановления Правительства РФ от 13 сентября 2016г. № 913 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах».

Расчеты платежей осуществлялись на основе разработанных новых значения НДС при условии, что малые водотоки являются каналами транспортировки сточных вод, а основными водными объектами - приемниками сточных вод являются крупные водотоки – р. Кама и Камское вдхр., что еще раз подтверждает экономическую выгоду использования ассимилирующего потенциала крупных водотоков-приемников сточных вод, при условии использования малых рек как каналов транспортировки сточных вод. Сравнение «новых» НДС с действующими НДС служит в качестве эколого-экономической оценки, которая может выступать опорной базой для последующей реализации предлагаемого решения и проявления правотворческой инициативы. Сравнение показало, что превращение малых водотоков-приемников сточных вод в каналы транспортировки и

экономически выгодно предприятию (снижение сумм платежей за негативное воздействие на окружающую среду до 70-75% при условии, что у предприятия имеются разрешения на сброс), и существенно снижает техногенную нагрузку на окружающую природную среду.

С использованием математического моделирования произведен расчет зон возможного загрязнения р. Камы (Камского водохранилища) и р. Яйвы в зависимости от гидрологического режима и характера отведения в них указанных сточных вод через малые водотоки. НДС рассчитывались для р. Камы (Камское водохранилище) как крупного водного объекта-приемника сточных вод, а местом выпусков служили устья малых рек, впадающих в р. Каму (Камское водохранилище): Усолки, Ленвы Южной и Зырянки. В ходе проведенных расчетов НДС, было выявлено, что р. Волим может служить в качестве канала транспортировки сточных вод в более крупный водоток – р. Яйву, а из нее – в р. Каму и Камское вдхр. – от БКПРУ-3. Данный вывод был получен в ходе проведения исследований и может выступать как рекомендация, допускающая альтернативный вариант сброса сточных вод не только через р. Ленву как канал, но и с привлечением других малых водотоков как каналов транспортировки. Разработанные значения НДС приведены в таблицах 1-5.

Таблица 1. Расчетные нормативы допустимого сброса веществ (лимитирующий ингредиент – хлориды) для р. Камы – ниже г. Соликамска для выпусков СКРУ-1,2 (т/мес.)

Месяцы	Весна			Лето-осень					Зима			
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III
Минер	32976	283571	91470	50158	36326	39034	50158	38472	24252	18811	15927	14906
Калий	5411	46530	15009	8230	5961	6405	8230	6313	3979	3087	2613	2446
Натрий	8143	70024	22587	12386	8970	9639	12386	9500	5989	4645	3933	3681
Хлориды	19330	166224	53618	29402	21294	22881	29402	22551	14216	11027	9336	8738

Таблица 2. Расчетные нормативы допустимого сброса веществ (лимитирующий ингредиент – хлориды) для р. Камы – ниже г. Соликамска для выпусков СКРУ-3 через р. Усолку как канал транспортировки сточных вод (т/мес.)

Месяцы	Весна			Лето-осень					Зима			
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III
Минер	17045	13264	6856	5831	5639	1730	3781	3652	1730	1730	1346	1410
Калий	726	565	292	248	240	74	161	156	74	74	57	60
Натрий	3619	2817	1456	1238	1197	367	803	776	367	367	286	299
Хлориды	10640	8280	4280	3640	3520	1080	2360	2280	1080	1080	840	880

Таблица 3. Расчетные нормативы допустимого сброса веществ (лимитирующий ингредиент – хлориды) для р. Камы – ниже г. Соликамска для выпусков в р. Ленву БКРУ-2, 3 (т/мес.)

Месяцы	Весна			Лето-осень					Зима			
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III
Минер	2968	1421	1180	1344	622	634	913	850	875	685	444	748
Калий	179	86	71	81	38	38	55	51	53	41	27	45
Натрий	693	332	275	314	145	148	213	198	204	160	104	175
Хлориды	1682	805	669	762	352	359	518	482	496	388	252	424

Таблица 4. Расчетные нормативы допустимого сброса веществ (лимитирующий ингредиент – хлориды) для р. Камы – ниже г. Соликамска для БКРУ-4 – р. Зырянка (т/мес.)

Месяцы	Весна			Лето-осень					Зима			
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III
Минер	245986	248002	135091	72586	47383	42342	50407	40326	33269	35285	27220	30244
Калий	48997	49399	26908	14458	9438	8434	10040	8032	6627	7028	5422	6024
Натрий	68692	69255	37725	20270	13232	11824	14076	11261	9290	9853	7601	8446
Хлориды	153532	154791	84317	45305	29574	26428	31462	25169	20765	22023	16989	18877

Таблица 5. Расчетные нормативы допустимого сброса веществ (лимитирующий ингредиент – хлориды) для р. Яйы – д. Володин Камень для БКРУ-3 – р. Волим (т/мес.)

Месяцы	Весна			Лето-осень					Зима			
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III
Минер	1812	867	720	821	379	387	557	519	534	418	271	457
Калий	162	77,6	64,5	73,5	34,0	34,7	49,9	46,4	47,8	37,4	24,3	40,9
Натрий	439	210	174	199	91,9	93,8	135	126	129	101	65,6	111
Хлориды	1020	488	405	462	214	218	314	292	301	235	153	257

Литература

1. Методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей, утвержденная приказом МПР России от 17.12.2007 № 333.
2. Лавров С.А. Калюжный И.Л. Физические процессы и закономерности формирования зимнего и весеннего стока рек бассейна Волги в условиях изменения климата // Водные ресурсы. 2012. №4. С. 74-84.
3. Осипова Н.В., Филиппова И.А. Оценка расчетных значений гидрологических характеристик методом совместного анализа Крицкого-Менкеля в нестационарных условиях // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2016. № 3. С. 69-80.

4. Лепихин А.П., Мирошниченко С.А. Техногенные воздействия Соликамско-Березниковского промузла на водные объекты // Горный журнал. 2008. №10. С. 92-96.
5. Отчет о НИР по договору № 4244/2014 от 03 октября 2014 г. «Разработка и установление региональных нормативов качества воды для водных объектов Соликамско-Березниковского промузла». 2015. 81 с.

**ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРУДОВ
НА БАЗЕ ГИС – ТЕХНОЛОГИИ
(НА ПРИМЕРЕ ПРУДОВ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ)**

Давыдова Н.С.

ФГБОУ ВО Воронежский государственный университет

Воронеж, Россия

Russia1307@yandex.ru

Достоверная информация об экологическом состоянии искусственных водных объектов необходима для целей мониторинга и управления водным хозяйством. С целью обеспечения современного решения данной проблемы была разработана структура и создан модуль ГИС прудов Воронежской области. Расчеты выполнялись с применением программ MS «Windows 2010», MS «Word 2010», MS «Excel 2010», «MapInfo 9.0». Картографической основой для оцифровки прудов послужили топографические карты масштаба 1:200 000 [1].

На первом этапе были созданы слои прудов – «Пруды Воронежской области», далее определены контуры водных объектов и автоматически просчитаны площади водного зеркала прудов [2]. Картографическая база данных (БД) включает слой прудов с классом размерности по площади водного зеркала, слой бассейнов притоков р. Дон, слой природных зон (лесостепь, степь), слой муниципальных районов, слой экологического состояния.

В качестве главного оценочного признака используется «экологическое состояние» прудов [3], базирующееся на стадии их развития и степень неблагоприятного влияния водоемов на прилегающие ландшафты. В экологическом состоянии прудов рассматриваются 4 класса: 1 - благоприятное; 2 - малоблагоприятное; 3 - неблагоприятное; 4 - очень неблагоприятное. Информация об экологическом состоянии прудов Воронежской области из [3] была внесена в БД ГИС. Аналогичная информация, отсутствующая для ряда прудов, была восполнена в процессе наших полевых исследований. Сводные сведения отражены в таблице 1. Основываясь на данных таблицы 1, следует отметить, что наиболее благоприятные по экологическим показателям являются бассейны рек Большая Верейка, Воронеж, Толучеевка, Ведуга, Икорец, Битюг, Хопер; переходное состояние от благоприятной экологической ситуации к неблагоприятной прослеживается в бассейнах рек Сарма и Казинка. По количеству водных объектов и их экологическому состоянию наиболее благоприятны для населения бассейны притоков первого порядка р. Дон:

Битюг, Хопер, Толучеевка. В их бассейнах сосредоточено достаточно большое количество искусственных водоемов, насчитывающее от 170 – 410 единиц. Наименее комфортны бассейны р. Сарма и Казинка. В данных бассейнах сосредоточено недостаточно большое количество водных объектов с малым запасом воды в них, хотя экологическое состояние прудов высокое.

Таблица 1. Экологическое состояние прудов в бассейнах и межбассейновых пространствах рек Воронежской области

№ в ГИС	Название бассейна	Кол-во водных объектов в бассейне	Оценочные баллы			
			1	2	3	4
			Количество водных объектов			
1	Большая Верейка	11	11	0	0	0
2	Ведуга	54	50	1	0	3
3	Девница (Красная Девница)	33	26	4	1	2
4	Воронеж	109	70	27	4	8
5	Хворостань	45	39	3	1	2
6	Девница (Нижняя Девница)	3	0	1	2	0
7	Потудань	18	6	12	0	0
8	Тихая Сосна	5	4	1	0	0
9	Икорец	105	75	24	2	4
10	Битюг	401	217	115	50	19
11	Осередь	83	60	10	10	3
12	Казинка	3	3	0	0	0
13	Черная Калитва	31	22	2	6	2
14	Мамоновка	22	17	0	4	1
15	Богучарка	52	26	1	22	3
16	Толучеевка	170	139	13	14	4
17	Хопер	316	187	58	42	29
200, 300	Межбассейновые пространства	120	96	8	9	7
Итого		1581	1048	280	167	86

В классификации представлены пруды с разной оценкой экологического состояния, но преобладающими среди них являются пруды благоприятного экологического состояния с оценочным баллом, равным 1.

Далее оценивалось экологическое состояние прудов в муниципальных образованиях области. Наличие прудов с надлежащим качеством воды определяет уровень комфортности проживания сельского населения. На основании анализа экологического состояния прудов выявили, что наиболее благоприятными в экологическом отношении, а, следовательно, комфортными для проживания являются Аннинский, Калачеевский, Панинский, Таловский, Семилукский, Терновский, Эртильский муниципальные районы. В названных

административных образованиях создано 514 (32,5%) прудов, экологическое состояние которых оценивается баллом, равным 1, означающим благоприятное состояние (табл. 2).

Таблица 2. Экологическое состояние прудов в муниципальных образованиях

№ в ГИ С	Название района, городского округа*	Кол-во водных объектов, расположенных в муниципальных образованиях	Оценочные баллы			
			1	2	3	4
			Количество водных объектов			
11	Аннинский	148	101	29	13	5
18	Бобровский	45	25	10	3	7
32	Богучарский	43	27	0	11	5
13	Борисоглебский*	12	12	0	0	0
24	Бутурлиновский	47	33	6	5	3
29	Верхнемамонский	18	14	0	4	0
3	Верхнехавский	76	41	25	7	3
25	Воробьевский	54	42	9	2	1
12	Грибановский	72	46	11	7	8
26	Калачеевский	110	97	5	6	2
21	Каменский	10	9	0	1	0
31	Кантемировский	25	5	0	18	2
9	Каширский	48	41	4	2	1
17	Лискинский	8	8	0	0	0
6	Нижедевицкий	32	26	4	1	1
8	Новоусманский	35	26	3	1	5
20	Новохоперский	65	30	14	16	5
27	Ольховатский	5	3	0	2	0
16	Острогожский	3	2	1	0	0
23	Павловский	26	19	1	6	0
10	Панинский	150	78	45	22	5
30	Петропавловский	58	48	1	9	0
14	Поворинский	50	31	2	6	11
22	Подгоренский	7	5	0	0	2
2	Рамонский	16	16	0	0	0
15	Репьевский	12	3	9	0	0
28	Россошанский	16	10	3	2	1
1	Семилукский	61	57	1	0	3
19	Таловский	117	73	32	7	5
5	Терновский	86	55	14	13	4
7	Хохольский	20	12	4	3	1
4	Эртильский	106	53	43	6	4
Итого		1581	1048	280	167	86

К очень неблагоприятному экологическому состоянию отнесены пруды в Поворинском (11 единиц), Грибановском (8 единиц), Бобровском (8 единиц) районах. Их всего 27 или 1,7% от общего числа прудов. По своему хозяйственному назначению - это пруды-отстойники, пруды – накопители, с

большим содержанием загрязняющих веществ в воде. К благоприятным по комфортности относятся Верхнехавский, Панинский, Таловский, Терновский, Семилукский районы. Наименее благоприятные в этом отношении Ольховатский, Острогожский, Подгоренский, Бобровский муниципальные районы. В итоге из 31 муниципального образования 9 имеют наилучшие, 15 средние и 8 наихудшие по комфортности проживания условия.

Классификационный анализ по природным зонам показал что: в лесостепной зоне наибольшее количество прудов имеет благоприятное экологическое состояние (67,6%), а величина прудов с очень неблагоприятным экологическим состоянием составляет 5% от общего числа. Оказалось, что в степной зоне, как и в лесостепной, преобладают пруды, находящиеся в благоприятном экологическом состоянии (63%), и их доля сопоставима с лесостепной зоной (табл. 3).

В степной зоне доля прудов с очень неблагоприятным экологическим состоянием велика и составляет 9,4 %.

Таблица 3. Оценка экологического состояния прудов по природным зонам

Зона	Лесостепь					Степь				
Классы	1	2	3	4	Итого	1	2	3	4	Итого
Кол-во водоемов	940	252	147	71	1410	108	26	21	16	171
% от общего кол-ва	67,6	17	10,4	5	100	63	15,2	12,4	9,4	100

Применение ГИС позволило более четко и эффективно дать представление об экологическом состоянии прудов Воронежской области, экологического состояния прудов в бассейнах притоков 1-го порядка р. Дон, в муниципальных образованиях области, оценить экологического состояния прудов по природным зонам.

Литература

1. Атлас. Воронежская область. Омск: Омская картограф. фабрика, 2003. 56с.
2. Давыдова Н.С. Применение ГИС-технологий в расчетах удельной аквальности (обводненности) территорий Воронежской области за счет создания искусственных водоемов // Геоинформационное картографирование в регионах России: матер. всерос. науч.-практ. конф. Воронеж: Истоки, 2009. С. 70-74.
3. Михно В.Б., Добров А.И. Ландшафтно-экологические особенности водохранилищ и прудов Воронежской области. Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. пед ун-та, 2000. 185 с.

ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА МАЛЫЕ ВОДОТОКИ ВОРОНЕЖСКОЙ ГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

Нефедова Е.Г.

Воронежский государственный университет

г. Воронеж, Россия

nefedovaeugenia@rambler.ru

Малые водотоки, составляющие основу более крупных рек, наиболее уязвимы к изменениям среды, обусловленным как природными, так и антропогенными факторами. В Воронежской городской агломерации антропогенная нагрузка на водотоки весьма разнообразна и интенсивна, что вызывает необходимость тщательного анализа последствий хозяйственного воздействия на реки и их водосборы для выявления основных причин ухудшения их состояния.

В качестве объекта исследований были выбраны две малые реки, находящиеся в пределах Воронежской агломерации и испытывающие различную по характеру антропогенную нагрузку. Р. Песчанка – левый приток р. Воронеж, отрезанный в устьевой части Воронежским водохранилищем. На протяжении почти 2/3 гидрографической длины (прежняя длина 17,5 км) водоток прекратил свое существование. Длина действующего водотока составляет 4 км [1]. Р. Песчанка протекает полностью в промышленной зоне города, отличающейся повышенной загрязненностью атмосферы и преобладанием запечатанных территорий. Вблизи водотока проходит автомагистраль с круглосуточным оживленным потоком машин. Р. Тавровка – левый приток р. Воронеж, в настоящее время впадает в Воронежское водохранилище. Гидрографическая длина водотока сократилась с 12 км до 7,4 км вследствие русловых преобразований антропогенного происхождения в верховье [1]. Река расположена в пригороде, где антропогенная нагрузка проявляется преимущественно в виде сельскохозяйственной деятельности садоводческих кооперативов и частных домовладений жителей микрорайона Масловка. Слив продуктов жизнедеятельности с частных подворий осуществляется в малый водоток. Кроме того, река является приемником сточных вод ООО «Левобережные очистные сооружения». Изначально природные условия в бассейнах этих водотоков были весьма схожи, а площади водосборов обеих рек около 131 км². Это делает выбранные водные объекты очень удобными для сравнения их отклика на воздействие антропогенных факторов.

С целью выявления антропогенной нагрузки на малые водотоки с апреля 2015 по август 2016 гг. автором работы был проведен отбор и анализ проб на содержание растворенного кислорода, органических веществ (по перманганатной окисляемости), катиона аммония, фосфора общего, железа общего [2]. За основу для оценки антропогенной нагрузки на малые водотоки была взята методика Р 52.24.819-2014. Согласно этому документу, показатель антропогенной нагрузки рассчитывается на основе среднего значения коэффициента комплексности [4].

Ограниченное количество определяемых компонентов и непродолжительный ряд наблюдений вызывает необходимость более осторожной интерпретации полученных результатов. Поэтому выявленные особенности антропогенной нагрузки пока рассматриваются как ориентировочные и могут корректироваться по мере получения новой информации в ходе исследования.

Выбранные для анализа пять компонентов, характеризуют общее состояние экосистемы водотока с точки зрения процессов продукции-деструкции [3]. Это позволяет рассматривать рассчитанный на их основе показатель антропогенной нагрузки в качестве интегрального индикатора состояния рек как местообитания водных организмов. Расчет уровня нагрузки для обоих водотоков по одинаковой методике обеспечивает сопоставимость полученных результатов между собой. В тоже время автор предполагает, что малое число анализируемых компонентов повышает риск увеличения погрешности расчета: показатель антропогенной нагрузки, рассчитанный по этой методике, может оказаться завышенным.

В устье (точка 1) и истоке (точка 2) р. Песчанка среднее значение доли антропогенной нагрузки составляет 0,6, что позволяет характеризовать ее как высокую. На различных участках р. Тавровка, согласно расчетам, нагрузка неодинакова. Так, в устье р. Тавровка (точка 3) ее среднее значение равняется 0,37, а в истоке (точка 4) – 0,42, что, тем не менее, позволяет оценить нагрузку в обеих точках как умеренную. В Масловском затоне (точка 5) среднее значение рассматриваемого показателя равняется 0,53 (высокая нагрузка).

Анализ частоты повторяемости отдельных диапазонов антропогенной нагрузки представляет особый интерес, так как среднее значение вследствие высокой неоднородности данных может искажать реальный уровень нагрузки. Результаты расчетов частот повторяемости представлены на графике (рис.).

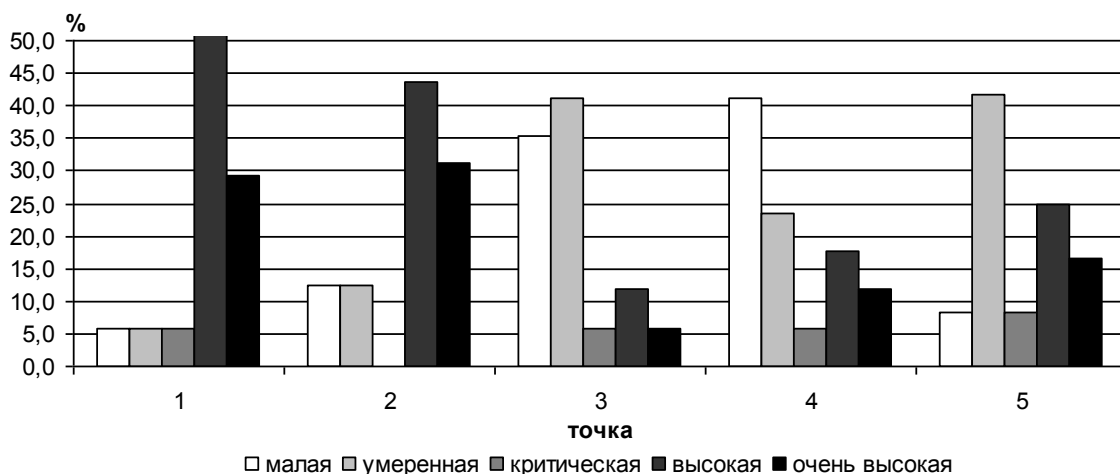


Рис. Частота повторяемости градаций доли антропогенной нагрузки в точках наблюдения

В истоке и устье р. Песчанка наибольшей повторяемостью характеризуется диапазон высокой антропогенной нагрузки. Суммарная частота градаций высокой и очень высокой нагрузки достигает в устье реки 82,4 %, а в истоке – 75 %. В целом от верхнего течения к нижнему происходит

ухудшение состояния водотока, обусловленное усилением нагрузки. Можно сказать, что среднее значение рассматриваемого показателя хорошо согласуется с данными частот повторяемостей.

На р. Тавровка, напротив, преобладающими являются первые два диапазона. В том числе в истоке реки преобладают случаи малой антропогенной нагрузки – 41,2%, а в устье – умеренной – 41,2% (доля малой нагрузки в этой точке ниже и достигает только 35,3 %). Вместе с тем, сумма этих двух диапазонов в точке 3 достигает 76,5%, а в истоке – всего 64,7%. Кроме того, суммарная частота повторяемости высокой и очень высокой нагрузки в истоке реки (29,4%) выше, чем в устье (17,6%). Поэтому, несмотря на преобладание в истоке диапазона, соответствующего малой антропогенной нагрузке, среднее значение рассматриваемого показателя в этом пункте наблюдений выше, чем в устье. С этой точки зрения, от верхнего течения к нижнему происходит самоочищение реки.

В Масловском затоне, согласно графику, преобладающим является интервал умеренной нагрузки – 41,7%, как и в устьевой зоне впадающей в него р. Тавровка. Однако суммарная частота повторяемости случаев высокой и очень высокой антропогенной нагрузки в затоне сопоставима с этой величиной и также достигает 41,7%. Это приводит к тому, что, согласно среднему значению рассматриваемого показателя, нагрузка на водоток оказывается выше, чем в границах преобладающего диапазона частоты повторяемости.

В заключение можно отметить, что уровень антропогенной нагрузки на р. Песчанка как в истоке, так и в устьевой части выше, чем на р. Тавровка. Это, вероятнее всего, обусловлено тем, что первый водоток характеризуется более высокой степенью преобразованности водосбора, повышенными уровнями загрязнения воздуха, истощением и загрязнением питающих его подземных водоносных горизонтов. В то же время, несмотря на наличие организованного водоотведения в р. Тавровка и значительную сельскохозяйственную освоенность ее бассейна, уровень антропогенной нагрузки, согласно расчетам, здесь гораздо ниже. Это позволяет предположить, что значительное положительное влияние на самоочищающую способность реки и ее устойчивость к негативному воздействию оказывает наличие естественной растительности в прибрежной зоне и на водосборе, меньшее угнетение водных экосистем.

Литература

1. Дмитриева В.А. Гидрологическая изученность Воронежской области. Каталог водотоков. Воронеж : Издат.-полиграф. центр Воронеж. гос. ун-та, 2008. 225 с.
2. Дмитриева В.А., Нефедова Е.Г. Антропогенное загрязнение малых водотоков Воронежской городской агломерации. Сборник мат-лов Всерос. научно-практ. конф. с межд. участием, приуроченной к 145-летию Севастопольской биологической станции «Морские биологические исследования: достижения и перспективы: в 3-х томах». Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2016. Т. 3. С. 73-76.
3. Никаноров А.М., Трофимчук М.М., Сухоруков Б.Л. Методы экспериментальной гидроэкологии. Ростов-на-Дону: Изд-во «НОК», 2012. 309 с.

**ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ ГОРОДСКИХ РЕК
И ОЗЕР ЮЖНОЙ ЧАСТИ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ**
**Слуковский З.И.¹, Медведев А.С.¹, Новицкий Д.Г.^{1,3}, Макарова Е.М.²,
Сыроежко Е.В.^{1,3}**

¹ *Институт геологии Карельского научного центра РАН,*

² *Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН*

³ *Петрозаводский государственный университет*

Петрозаводск, Россия

slukovsky87@gmail.com

На территории Республики Карелии насчитывается около 26,7 тыс. рек и 61,1 тыс. озер. Преобладающее значение имеют малые водные объекты, В частности, реки длиной до 10 км составляют около 95% от общего числа всех водотоков региона [2]. Южная часть Республики наиболее развита с точки зрения экономики, промышленности и инфраструктуры. Здесь находится 9 из 13 городов данного субъекта Российской Федерации, что безусловно сказывается на водных объектах, расположенных вблизи или на урбанизированных территориях региона [1, 4]. Такие водоемы перестают выполнять не только рекреационную и рыбохозяйственную функции, но и могут стать причиной ухудшения качества воды своих водоприемников – крупных озер и рек. Подобные проблемы масштабного загрязнения малых водных объектов регулярно поднимаются как на мировом уровне (Стокгольм 1992г.), так и на уровне нашей страны (Парламентские слушания в Федеральном Собрании РФ в 2003г. [3]). Считается, что для оптимизации мониторинга малых рек необходимо комплексное использование различных методов, таких как гидрохимические, гидробиологические и токсикологические наблюдения [6].

Цель данной работы – оценить актуальное состояние химического состава воды малых рек и озер, расположенных в трех городах Республики Карелии (Петрозаводск, Медвежьегорск, Суоярви).

Материалы и методы исследования. Отбор проб воды производился в течение весенне-летнего периода 2016г. на 10 водных объектах, показанных на карте (рис. 1). Самым крупным из представленных городов является Петрозаводск, административный центр Республики Карелия, численностью 277 тыс. человек. Второй по величине – г. Медвежьегорск (14 тыс. человек), находящийся в северо-западной оконечности Большой губы Повенецкого зал. Онежского озера. Г. Суоярви, расположенный в 140 км западнее Петрозаводска на берегу одноименного озера, имеет численность 9 тыс. человек. Все исследованные малые озера и водотоки характеризуются рекреационным значением для местного населения (отдых, рыбалка), при этом, русла рек и берега водоемов захламливаются твёрдыми бытовыми отходами. Все изученные реки Петрозаводска и Медвежьегорска впадают в Онежское оз., являющееся вторым по величине водоемом Европы.

Аналитические исследования выполнялись в аналитической лаборатории Института геологии Карельского научного центра РАН (г. Петрозаводск) при помощи масс-спектрометра с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS). Актуальная кислотность и Eh-потенциал воды измерялись с использованием рН-метра-милливольтметра рН-420 и стеклянного комбинированного электрода ЭСК-10611.

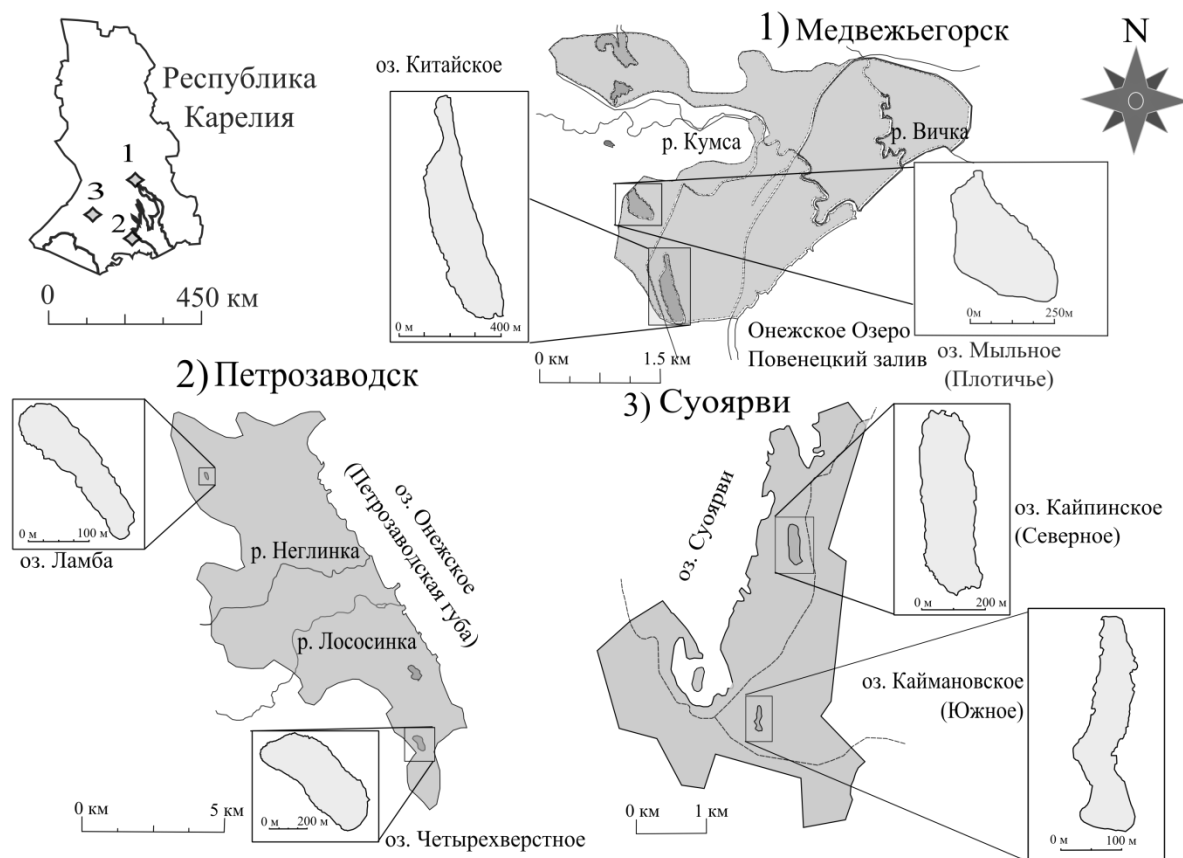


Рис. 1. Карта-схема расположения объектов исследования в 2016г.

Результаты и их обсуждение. Воды р. Лососинки (г. Петрозаводск) характеризуются нейтральной и слабощелочной реакцией (рН от 7,04 до 7,91). Аналогичная картина наблюдается и на обоих петрозаводских озерах, однако летом рН воды может возрасти до 8,48 (оз. Четырехверстное). В широком диапазоне колеблются значения актуальной кислотности воды р. Неглинки – от 4,80 за городом и до 7,95 в приустьевой зоне перед впадением в озеро. Малые водные объекты городов Медвежьегорска и Суоярви характеризуются слабощелочной реакцией воды (диапазон значений от 7,70 до 8,20). Такая реакция водной среды городских поверхностных вод обусловлена антропогенным воздействием, вызванным попаданием в воду различных реагентов, используемых зимой для посыпки дорог и тротуаров. Исследования рН донных отложений рек г. Петрозаводска также имеют нейтральную и слабощелочную реакцию по сравнению с кислым фоновым уровнем, свойственным всему региону [5]

Поверхностные воды Республики Карелии формируются в условиях труднорастворимых коренных пород Балтийского щита и хорошо промытых четвертичных отложений. Наиболее распространены гидрокарбонатные кальциевые воды, причем Са поступает в воду вследствие выветривания силикатных и алюмосиликатных пород [2]. В изученных городских водных объектах содержание этого элемента колеблется от 0,9 в р. Неглинке до 21,5 мг/л в оз. Четырехверстном (медиана – 5,8 мг/л). Отмечается высокий уровень корреляции между концентрациями Na и Са в водах рек и озер г. Петрозаводска (рис. 2) и других урбанизированных водных объектах, что подтверждает факт связи Са с силикатными минеральными образованиями.

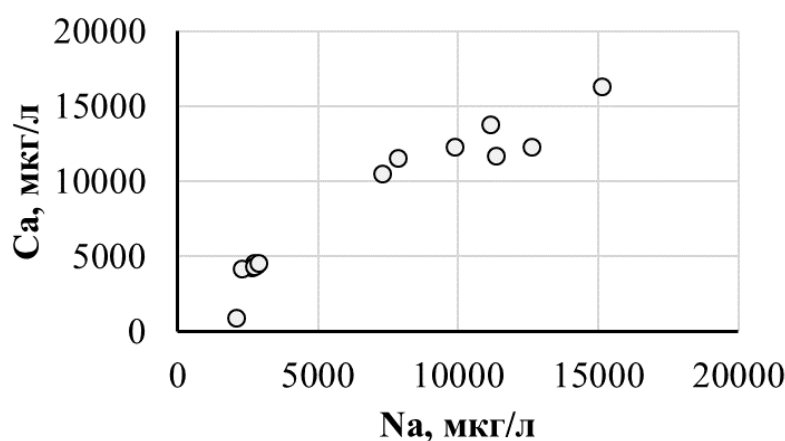


Рис. 2. Связь концентраций кальция и натрия в поверхностных водах рек и озер г. Петрозаводска (Республика Карелия)

Содержание Na по всем городским водным объектам составляет 3,4 мг/л (по медиане), наибольшее значение отмечается в воде приустьевой зоны р. Неглинки (15,1), наименьшее – в воде оз. Мыльного (г. Медвежьегорск, 0,5). Интересно, что оз. Мыльное по сравнению с остальными городскими водоемами и водотоками «бедно» и многими другими химическими элементами (Mg, P, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu). Содержание тяжелых металлов в водах изучаемых объектов находится ниже предельно-допустимых концентраций, за исключением Fe, что связано со спецификой вод Карельского региона, которые имеют повышенное содержание этого элемента наряду с Mn. В исследованных в данной работе водных объектах наибольшее содержание Fe установлено в воде оз. Кайпинского (г. Суоярви), где концентрация этого металла достигает 2,3 мг/л при медиане 0,6 мг/л для всех изученных рек и озер трех городов Карелии. Интересно отметить также, что оз. Кайпинское характеризуется высоким значением концентраций P в воде (132-146 мкг/л) и невысоким показателем окислительно-восстановительного потенциала Eh (84,5-92,7 мВ), что может быть связано с начинающимися процессами эвтрофикации и восстановления Fe, благодаря чему в донных осадках впоследствии образовывается минерал вивианит $Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$. При этом, в оз. Каймановском, также расположенного в г. Суоярви, содержание в воде как Fe, так и P заметно меньше (0,74 мг/л – Fe и 25 мкг/л – P), а Eh-потенциал колеблется в районе 245-251 мВ.

В водах рек городов Петрозаводска и Медвежьегорска наблюдается общая тенденция увеличения основных компонентов химического состава (Ca, Na, K, Mg и др.) от пригородных районов к устью, что свидетельствует о значительном влиянии поверхностного стока с урбанизированных водосборных территорий. Например, в водах р. Вички концентрация Na в приустьевой зоне увеличивается в 2,8 раз по сравнению с фоновым районом, а Ca – в 1,5 раз (рис. 3). Аналогичные закономерности наблюдаются и по другим рекам. Таким образом, городская среда очевидно влияет на трансформацию химического состава поверхностных вод малых водных объектов южной части Республики Карелии, что может сказываться на жизнедеятельности организмов, населяющих исследованные реки и озера. Необходим постоянный мониторинг обозначенных водных объектов, учитывая их рекреационную значимость для городских жителей Карелии [1].

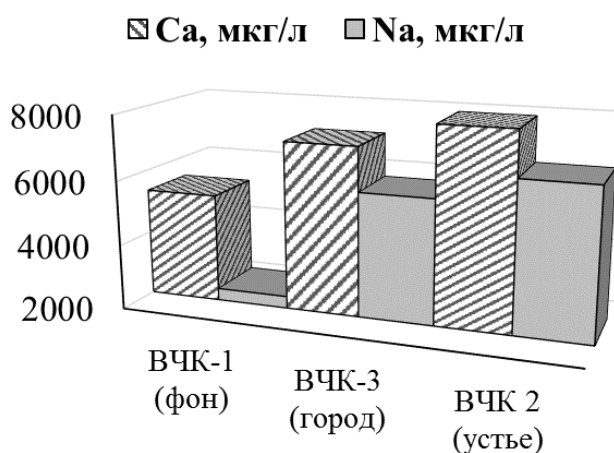


Рис. 3. Гистограмма распределения содержания кальция и натрия воде р. Вички (г. Медвежьегорск) от условно-фоновой зоны к устью

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-00026 мол_а.

Литература

1. Водные объекты города Петрозаводска: Учебное пособие / Ред. А.В. Литвиненко, Т.И. Регеранд. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. С. 25-27.
2. Каталог озер и рек Карелии / Ред. Н.Н. Филатов, А.В. Литвиненко. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2001. 209 с.
3. Рекомендации Парламентских слушаний «Экология малых рек России: проблемы и пути их решения» // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов: обзорная информация. 2004. № 8. С.72-79.
4. Рыжков Л.П., Горохов А.В., Марченко Л.П. Трансформация химического состава вод реки Лососинки под воздействием природных и антропогенных факторов // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2012. № 8. Т. 1. С. 20–24.
5. Слуковский З.И. Эколого-геохимический анализ состояния донных отложений малых рек урбанизированных территорий (на примере города

Петрозаводска): автореферат диссертации ... кандидата биологических наук: 03.02.08. Петрозаводск, 2014. 24 с.

6. Теканова Е.В., Макарова Е.М., Калинин Н.М. Оценка состояния воды притоков Онежского озера в условиях антропогенного воздействия по микробиологическим и токсикологическим показателям // Петрозаводск: Тр. Карельского науч. центра РАН. 2015. № 9. С.44-52.

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ВОДООБЕСПЕЧЕННОСТИ НАСЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПИТЬЕВЫМИ ПОДЗЕМНЫМИ ВОДАМИ

Четверикова А.В.

ФГБУН Институт водных проблем Российской академии наук

Москва, Россия

4etverikova.anna@gmail.com

Подземные воды в большинстве регионов России являются одним из основных (в ряде случаев – единственным) источником питьевого водоснабжения населения. Доля подземных вод в ХПВ России составляет 45% [1], что неудивительно, так как они имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с поверхностными водами. Подземные воды в большинстве случаев характеризуются более высоким качеством и лучшей защищенностью от загрязнения и заражения по сравнению с поверхностными водами; менее подвержены многолетним и сезонным колебаниям, связанным с климатической цикличностью и водностью отдельных лет; как правило, имеют более широкое распространение. Важен и экономический аспект: ввод в эксплуатацию водозаборов подземных вод может осуществляться постепенно по мере роста потребности в воде, в то время как строительство гидротехнических сооружений (каналов, прудов, водохранилищ и др.) требует крупных единовременных затрат.

Водообеспеченность населения Российской Федерации подземными водами оценивается сопоставлением имеющихся данных по разведанным и утвержденным эксплуатационным запасам пресных подземных вод на 01.01.2015г. [2] и рассчитанной потребности населения в хозяйственно-бытовом и питьевом водоснабжении (ХПВ). Потребность населения в ХПВ рассчитывается на основании норм водопотребления и количества населения. Федеральные нормы удельного водопотребления регламентируются Сводом Правил 31.13330.2012. «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения». При этом, конкретное значение нормы удельного хозяйственно-бытового и питьевого водопотребления принимается на основании постановлений органов местной власти в случае их наличия [3].

В результате проведенных расчетов установлено, что население всех федеральных округов Российской Федерации достаточно обеспечено пресными подземными водами в пересчете на одного жителя (рис. 1). Наиболее обеспеченными утвержденными запасами пресных подземных вод являются Центральный федеральный округ, а наименее обеспеченными – Северо-Западный федеральный округ. Обеспеченность одного жителя

утвержденными запасами подземных вод колеблется от 306 л/сут. (Северо-Западный федеральный округ) до 988 л/сут. (Дальневосточный федеральный округ). Приведенное сравнение утвержденных запасов пресных подземных вод и потребности населения в ХПВ дает основание сделать вывод о возможности прекращения поисково-разведочных работ и изучения условий формирования запасов подземных вод, поскольку свидетельствует об избытке запасов подземных вод в России и полном благополучии в оценке перспектив их практического использования.

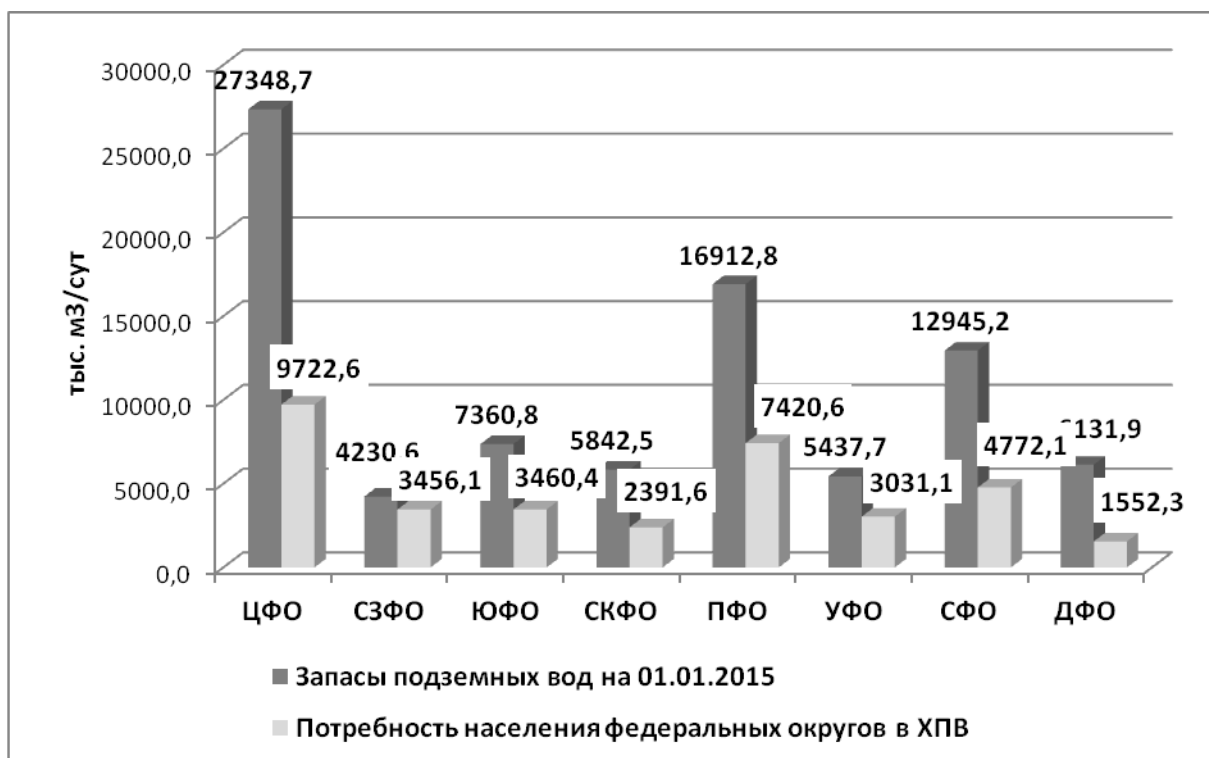


Рис. 1. Сравнение разведанных запасов подземных вод и потребности населения федеральных округов в ХПВ

Такое утверждение является принципиально неверным, так как превышение утвержденных запасов подземных вод над их использованием справедливо только для крупных территорий – федеральных округов и страны в целом. При этом, не учитывается большая неравномерность в распределении ресурсов подземных вод, которая проявляется при оценке водообеспеченности подземными водами субъектов Российской Федерации, а также отдельных городов. Например, Вологодская, Ленинградская, Астраханская, Курганская, Омская, Челябинская области, Республики Карелия, Карачаево-Черкессия, Удмуртия и Чувашия недостаточно обеспечены утвержденными запасами подземных вод (рис. 2).

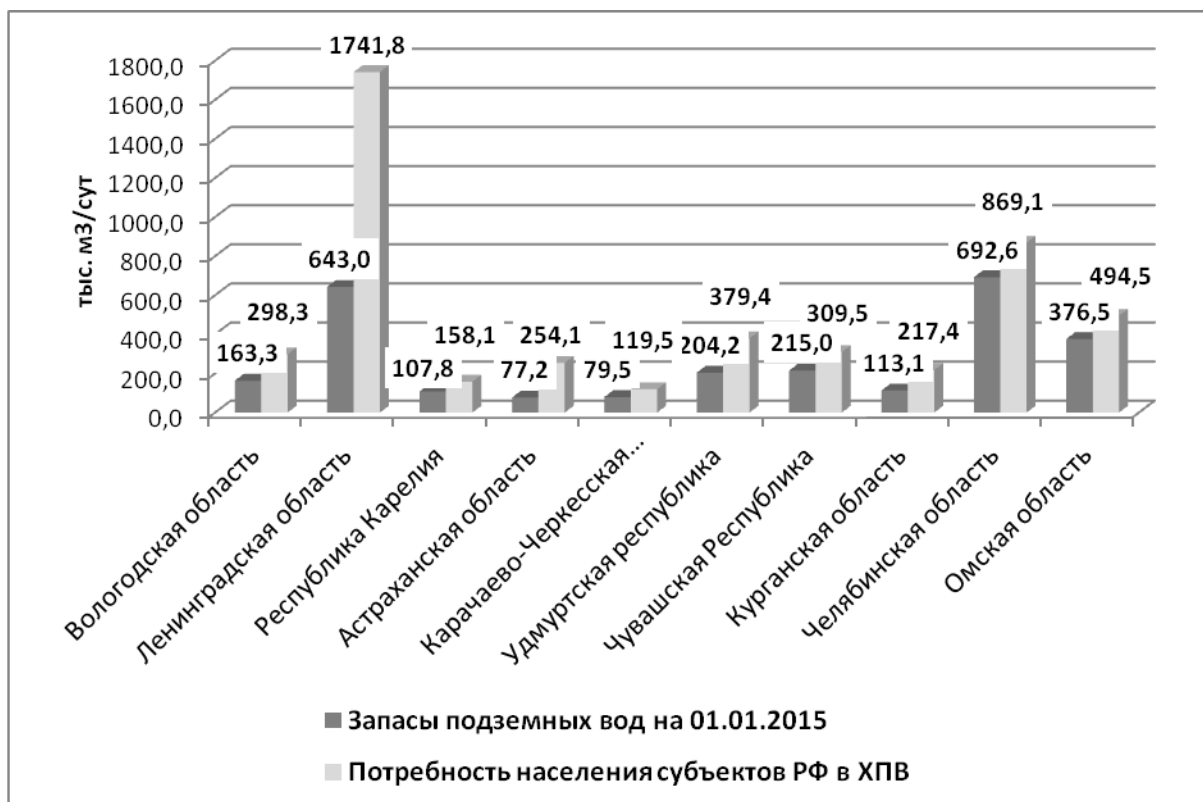


Рис. 2. Сравнение разведанных запасов подземных вод и потребности населения субъектов РФ в ХПВ

Для оценки обеспеченности населения городов утвержденными запасами подземных нами введены три градации: 1) «надежно обеспеченный» - город, для которого запасы подземных вод превышают потребность в подземных водах более чем в 2 раза, 2) «достаточно обеспеченный» - город, для которого превышение запасов подземных вод над потребностью – не более чем в 2 раза и 3) «необеспеченный» город, в котором утвержденные запасы подземных вод меньше потребности [4]. Из 113 городов РФ с населением свыше 250 тыс. чел. (77 городов с населением от 250 до 500 тыс. чел. и 36 городов с населением свыше 500 тыс. чел) к категории «необеспеченных» запасами подземных вод относятся 25 городов – Москва, Санкт-Петербург, Астрахань, Ростов-на-Дону, Набережные Челны, Ижевск, Пермь, Пенза, Ульяновск, Екатеринбург, Омск, Челябинск, Чебоксары, Ставрополь, Нижний Тагил, Волжский, Курган, Череповец, Якутск, Стерлитамак, Петрозаводск, Новороссийск, Таганрог, Симферополь и Севастополь. Следует отметить, что количество утвержденных запасов подземных вод для городов Симферополь и Севастополь приводится по результатам оценок 1980х годов в связи с отсутствием современных данных. Остальные города относятся к категории «надежно» и «достаточно» обеспеченных запасами подземных вод.

Приведенные оценки характеризуют, в основном, общую ситуацию с обеспеченностью средних и крупных городов России утвержденными запасами подземных вод, т.к. несмотря на разведанные и утвержденные запасы питьевых подземных вод для многих крупных и средних городов, освоение этих запасов до сих пор не начато. Таким образом, показано, что при

оценке современного состояния водообеспеченности населения Российской Федерации питьевыми подземными водами необходимо проводить следующие работы:

- сбор и анализ данных по современной численности населения с учетом результатов последней переписи населения;
- анализ режима работы действующих централизованных водозаборов подземных вод, включая изменчивость производительности водозаборов за период их эксплуатации, развитие депрессионных воронок, изменчивость качества воды, анализа взаимодействия исследуемого водозабора с поверхностными водами и водами более глубоких водоносных горизонтов и др. информации;
- сбор информации об утвержденных эксплуатационных запасах подземных вод крупных водозаборов с указанием количества и качества оцениваемых запасов, их категорий, рекомендаций по эксплуатации и даты утверждения;
- определение потребности населения в воде хозяйственно-бытового и питьевого назначения с учетом утвержденных норм водопотребления;
- сравнение утвержденных запасов подземных вод с потребностью населения в воде для ХПВ. Указанные рекомендации целесообразно использовать для определения направленности дальнейших научно-исследовательских и поисково-разведочных работ.

Литература

1. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2014 г.». М.: НИА-Природа, 2015 270 с.
2. Информационный бюллетень Федерального агентства по недропользованию о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2014 г. Вып. 38. М., 2015.
3. Свод Правил 31.13330.2012. «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения». Water supply. Pipelines and portable water treatment plants, актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84.
4. Зекцер И.С., Каримова О.А., Четверикова А.В. Современное состояние и перспектива использования пресных подземных вод для водоснабжения городов // Известия высших учебных заведений. Геология и Разведка. 2016. №1. С. 71-77.

ПРОБООТБОР И АНАЛИЗ ПЛЕНОК ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ НА ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ

Казанцева И.В., Морозов И.А., Полотнянко., Н.А. Зуев Б.К.

Государственный университет «Дубна»

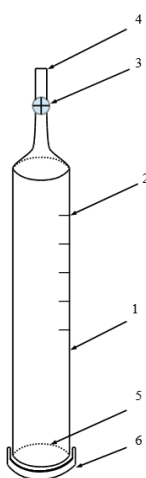
г. Дубна, Московская область, Россия

KazantsevaIrinaVladimirovna@mail.ru

На поверхности раздела между средами протекает большинство важнейших биологических и химических процессов. Поверхностный микрослой природных вод (ПМПВ) представляет собой как раз такую поверхность раздела. Она занимает около 71% поверхности Земного шара и,

несмотря на незначительную толщину (не более 1 мм) и отсутствие временной и структурной стабильности, аккумулирует в себе важнейшие процессы обмена органического и неорганического материала, газов, водяных паров, тепла и энергии между водой и атмосферой [1].

Цель исследований: разработка нового метода определения органического вещества в виде пленки нефтепродуктов на поверхности воды. Метод включает стадию пробоотбора и определения с использованием ИК-спектроскопии. Нами предлагается новый способ пробоотбора пленок на основе зонда [2] (рис.), осуществляющийся с помощью переноса пленки на внутреннюю поверхность цилиндрического зонда (подобно методу Ленгмюра-Блоджетт), для качественного и количественного анализа органических пленок с водных поверхностей.



1. Полый цилиндр;
2. Риски для определения объема жидкости;
3. Прецизионный вентиль;
4. Наконечник;
5. Открытый конец трубки;
6. Пробка из инертного материала.

Рис. Зонд (пробоотборник)

Перед применением пробоотборник (зонд) для удаления посторонних органических веществ предварительно подвергают отжигу в печи в атмосфере воздуха. Отбор пробы происходит с поверхности воды известной площади, определяемой внутренним сечением пробоотборника. При погружении пробоотборника в водную среду вода, а также органическое вещество в виде пленки поступают во внутреннюю часть пробоотборника. Необходимый объем пробы отбирают, регулируя его с помощью вентиля на внешней поверхности пробоотборника. Для осаждения органической пленки, находящейся в пробоотборнике, на его внутреннюю поверхность прикрывают вентиль и начинают медленно извлекать пробоотборник из воды так, чтобы уровень воды в пробоотборнике был выше уровня поверхности воды, с которой отбирают пробу. При этом открытый конец пробоотборника может оставаться погруженным в водную фазу. Скорость перемещения верхней границы воды внутри пробоотборника может варьироваться от 10 до 300 мм/мин и зависит от толщины определяемой пленки на поверхности воды. Затем его закрывают пробкой из инертного материала.

Перед началом анализа органического вещества пробку открывают, водную фазу из отобранной смеси удаляют, поднимая пробоотборник вертикально над емкостью открытым концом вниз. Вентиль медленно

приоткрывают на небольшую величину, в результате чего водная фаза отобранной пробы вытекает из нижнего конца. По мере снижения уровня воды в пробоотборнике пленка из отобранной пробы осаждается на его внутренней поверхности.

При закрытом вентиле через открытый конец в пробоотборник наливают известный объем растворителя, позволяющего перевести пленку с поверхности пробоотборника в раствор (в данной работе использовался тетрахлорметан). Закрывают конец пробкой и проводят экстракцию органической пленки. После пробоотбора с помощью зонда органических веществ (чистых и смесей), находящихся на границе раздела вода-воздух в виде пленок, проводили аналитические исследования растворов на ИК – Фурье спектрометре IRPrestige-21 (Шимадзу, Япония). В качестве растворителя органического вещества был выбран тетрахлорметан, поскольку его ИК-спектр (зависимость пропускания в % от волнового числа в см^{-1}) не мешает определению других органических веществ.

Была сделана попытка применения зонда для пробоотбора гексана в виде пленки с поверхности воды. Полученные экспериментальные данные позволили сделать вывод, что зонд можно использовать для качественного анализа данного вещества, однако количественно определить содержание данного углеводорода в полученных растворах не удалось, что, вероятно, связано с его большой летучестью. Анализ раствора модельной смеси изооктана, бензола и гексана (ГСО 7248-96), отобранной с водной поверхности в виде пленки с применением зонда, также подтвердил возможность применения зонда для качественного определения органических соединений.

После применения зонда при пробоотборе пленки бензина АИ-92 с водной поверхности по результатам спектрального анализа были получены идентичные спектральные характеристики, что и без применения пробоотборника, что доказывает полный перенос основных компонентов органической пленки на поверхность зонда.

Также удалось получить удовлетворительные результаты количественного определения сложной смеси на примере бензина методом ИК-спектроскопии после применения зонда, экспериментальная концентрация раствора бензина в тетрахлорметане составила $5.7 \pm 3 \%$, тогда как расчетному значению соответствует 7.0% .

Проведенные исследования подтвердили возможность использования зонда для пробоотбора пленок смесей органических веществ с водной поверхности для последующего качественного и количественного анализа, следовательно, данный способ пробоотбора может применяться, в том числе и в полевых условиях, в процессе экологического мониторинга природных вод, например, при оценке уровня их загрязненности нефтью и нефтепродуктами.

Литература

1. Зуев Б.К., Чудинова В.В., Коваленко В.В., Ягов В.В. Условия формирования химического состава морского поверхностного микрослоя воды и особенности анализа органического вещества в нем // Геохимия. 2001. № 7. С. 773-784.

2. Патент. Способ для отбора пленок нефти и нефтепродуктов с поверхности воды и устройство для его осуществления. № 2015117707 от 13.05.2015.

ИЗУЧЕНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ ФОРМ ТРАНСПОРТА МИКРОЭЛЕМЕНТОВ НА ПРИМЕРЕ БАСЕЙНА Р. СЕЛЕНГА

Ефимов В.А.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Москва, Россия

Roxifixat@yandex.ru

Сегодня, при изучении химического состава водных объектов, основное внимание уделяется концентрациям микроэлементов в водных растворах. Однако их высокое содержание характерно и для взвешенных и влекомых наносов. Эти три формы нахождения микроэлементов постоянно взаимодействуют между собой.

Цель данной работы - изучение форм нахождения и транспорта микроэлементов в водных объектах, а также процессов и условий их миграции между этими формами. В задачи входило исследование процессов поступления материала в реки репрезентативного бассейна, влияния на них факторов формирования стока воды и наносов, а также процессов миграции микроэлементов в системе вода - взвешенные наносы - влекомые наносы. Оценивались концентрации микроэлементов в разных частях репрезентативного бассейна в разные фазы водного режима и их потоки во всех формах перемещения.

Информационной основой работы послужили результаты экспедиций МГУ в бассейн р. Селенги в 2011-2013 гг. В ходе экспедиций были получены сведения о гидролого - гидрохимических характеристиках вод р. Селенга и её притоков за разные фазы водного режима, условно названных летней меженью (июнь 2012г.), летний паводочный период (июль-август 2011г.), спад летнего паводочного периода (сентябрь 2013г.). В ходе экспедиций была отобрана 481 проба воды, влекомых и взвешенных наносов, которые анализировались методом масс-спектрометрии с ионизацией в индуктивно связанной аргоновой плазме (ИСП-МС) и атомно-эмиссионным методом с ионизацией в индуктивно связанной аргоновой плазме (ИСП-АЭ). В работе рассматривались концентрации элементов Be; B; V; Cr; Mn; Fe; Co; Ni; Cu; Zn; As; Mo; Ag; Cd; Pb; Bi; Th; U; Zc; W; Al; Hg; Se, которые превышают ПДКв в разных частях бассейна.

Характеристика гидрологических условий в разные сезоны проводилась на основе оценки водности рек в период пробоотбора. Использовался коэффициент водности $Q_i/Q_{срi}$, характеризующий степень отклонения фактических расходов воды Q в i -х створах наблюдений от среднегодовых расходов воды $Q_{ср}$ на данном участке реки. Максимальная водность свойственна верховьям притоков р. Селенги в период начала летних паводков и бассейнам рек Хара и Хан-гол в период окончания паводков, что связано с сильными дождями в рассматриваемые периоды.

Оценка техногенной трансформации условий транспорта наносов проводилась на основе расчета по уравнению расхода наносов Н.И. Маккавеева. Смоделированные расходы взвешенных наносов для фоновых сезонных условий формирования стока наносов для каждого створа модели соотносились с измеренными фактическими расходами взвешенных наносов, что позволило рассчитать коэффициент $R_{\text{мод}}/R_{\text{факт}}$, характеризующий степень техногенной трансформации стока взвешенных наносов.

Наиболее высокие значения, характеризующие переизбыток транспортируемого материала в потоке, наблюдались в районе разработок россыпного золота в бассейне р. Туул ($R_{\text{мод}}/R_{\text{факт}} = 150-206$) в период межени. Высокие коэффициенты отмечены в бассейнах рек Хара ($R_{\text{мод}}/R_{\text{факт}} = 50-130$) и Бороо ($R_{\text{мод}}/R_{\text{факт}} = 10-35$), что также связано с горнодобывающей деятельностью в этих бассейнах. Наименьшие значения, указывающие на недостаточную насыщенность потока наносами, наблюдаются в верховьях рек, в скальных руслах не нарушенных антропогенной деятельностью ($R_{\text{мод}}/R_{\text{факт}} = 0,01-0,05$).

Согласно результатам химического анализа проб, в составе влекомых и взвешенных наносов исключительно высоки концентрации Fe и Al. В составе взвеси преимущественно мигрируют такие элементы как Be, B, V, Cr, Mn, Co, Ni, Zn, As, Cd, Pb, Bi, Th, U, Zr, Hg. Они активно сорбируются тонкими взвешенными частицами и образуют органоминеральные комплексы. Содержание W, Se, Mo, Ag выше в составе влекомых наносов. В монгольской части бассейна отмечается уменьшение содержания Be, B, Co, Ni, Cu, Mn, Ag, Pb, Th, U, As, Mo, Cd, Bi, W, Hg. Диапазон изменения концентраций Fe во взвешенных наносах в разные фазы водного режима составил 24584 мкг/г; Al - 1498 мкг/г; Mn - 1734 мкг/г; Cu - 37,5 мкг/г; Mo - 1,7 мкг/г; Pb - 16,4 мкг/г; Th - 11,84 мкг/г; Hg - 0,125 мкг/г. В растворённой форме отмечались следующие диапазоны: Fe - 961,1 мкг/л; Al - мкг/л; Mn - 67,19 мкг/л; Cu - 4,39 мкг/л; Mo - 2,51 мкг/л; Pb - 1,53 мкг/л; Th - 4,29 мкг/л; Hg - 0,045 мкг/л.

Были рассчитаны потоки микроэлементов в системе вода - взвесь - влекомые наносы. для 9 репрезентативных створов. Интенсивные потоки микроэлементов во всех трёх формах транспорта наблюдались в загрязнённых бассейнах р. Туул (до 217 г/с). Потоки увеличиваются от скальных русел с невыраженным стоком наносов в верховьях рек, где преобладает перенос микроэлементов в растворённой форме (80-90%), к устью, где возрастает доля микроэлементов, переносимая в составе взвешенных наносов (90-95%).

В распределении долей микроэлементов по интенсивности миграции в разных формах транспорта в разные фазы водного режима наблюдается значительная неоднородность. Так, группа элементов Cu, Cd, Mo, Zn, B, Se, W во все рассматриваемые фазы водного режима мигрирует преимущественно в растворённой форме (75-80% от общего потока каждого элемента). Микроэлементы Ag, Hg, Bi представлены сорбированными или труднорастворимыми агрегатами, переносимыми во взвеси. В этой форме их доля составляет 70-100% от общего потока. В период паводков начинают увеличиваться потоки взвешенных частиц в результате возрастания

транспортирующей способности потока. Доля этих потоков возрастает на 40-50% (рис. 1).

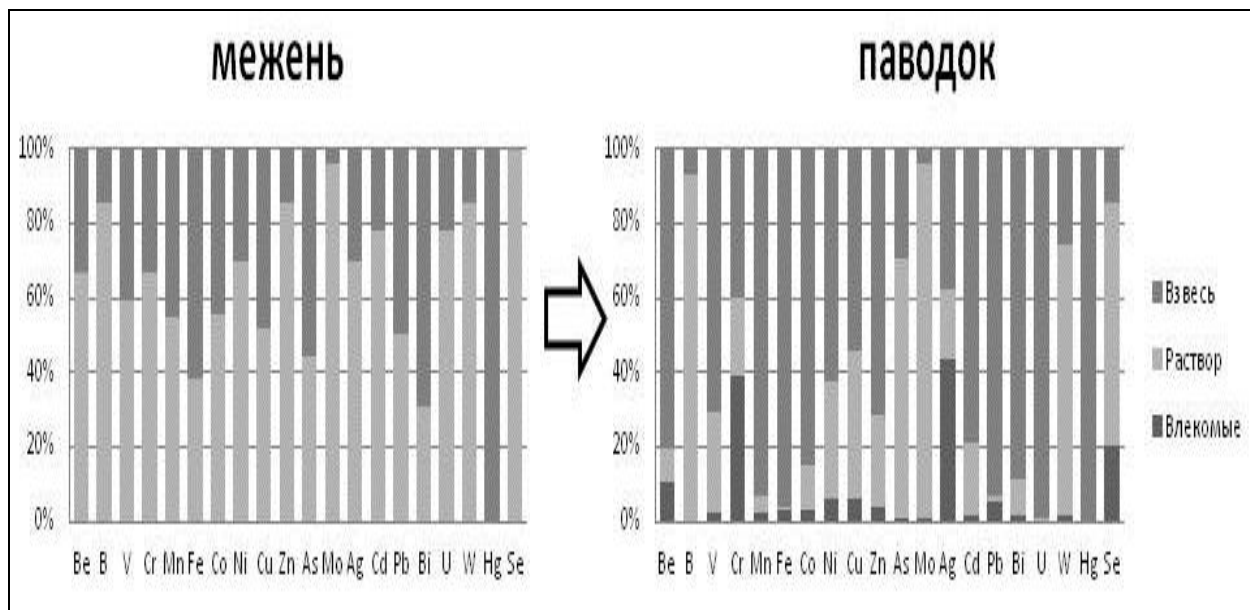


Рис. 1. Изменение потоков микроэлементов в зависимости от фазы водного режима для р. Туул (выше г. Улан-Батор)

Увеличивается поток микроэлементов в составе влекомых наносов. Их поступление связано с русловой эрозией. Во влекомой форме наблюдается увеличение переноса Be, Cr, Se, Ag (до 20-30 % от общего потока). Однако, в основном оно свойственно участкам горнорудных месторождений.

В качестве статистически достоверного инструмента выявления участков рек со сходными условиями формирования химического состава вод или наносов был использован кластерный анализ. Для разных участков рек его результаты были сопоставлены со значениями $R_{\text{мод}}/R_{\text{факт}}$ и $Q_i/Q_{\text{ср}}$. Полученные примеры выделения группировок для взвеси для разных сезонов показывают специфические условия формирования химического состава взвешенных наносов при разных гидрологических условиях (рис. 2).

В 2011г. распределение точек отбора проб взвешенных наносов показывает значительное отличие концентраций микроэлементов в верховьях р. Туул (выше Улан-Батора) и р. Ероо от остальных. Воды рек имеют низкую мутность ($1-8 \text{ г/м}^3$). Коэффициент $R_{\text{мод}}/R_{\text{факт}}$ равен 0,9 из-за недостаточной мутности воды, вследствие протекания по скальным трудноразмываемым руслам.

По микроэлементному составу вод, отобранных в июне-июле 2012г., можно выделить две больших группы: точки пробоотбора ВЗ - S1 и Т7 - О1. Подразделение массива точек на эти группы объясняется влиянием выпадающих дождей для первой группы и отсутствием дождей для второй. В результате для первой группы характерны более высокие расходы воды и коэффициенты $Q_i/Q_{\text{ср}}$ и соответственно более высокие концентрации взвешенных частиц, что определяет большее содержание микроэлементов.

Точка Т7 отличается самым низким показателем Q_i/Q_{cp} (0,07) что позволяет выделить её в отдельный кластер.

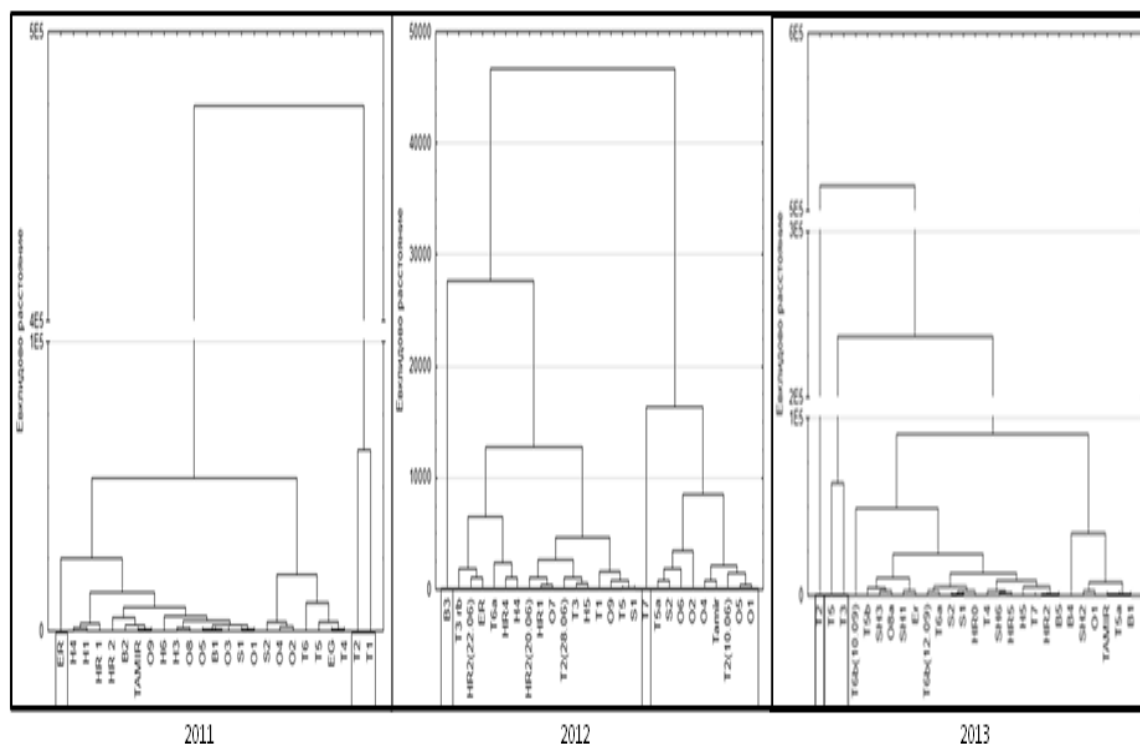


Рис. 2. Дендрограммы кластерного анализа точек отбора проб взвешенных наносов в 2011- 2013гг. (Реки: Т - Туул; В - Бороо; HR - Хара; Ер - Ероо; О - Орхон; S - Селенга; Н - Хан-гол, Sh - Шарын-гол)

К группировкам с высокой степенью антропогенной нарушенности относится точка ВЗ в бассейне р. Бороо. Влияние месторождений проявляется в поступлении большого количества взвеси ($R_{mod}/R_{факт}$ равно 4).

Для 2013г. значительные отличия характерны для верхнего течения р. Туул, где снова наблюдаются достаточно низкие показатели мутности воды при достаточно высоких концентрациях микроэлементов из-за низких расходов воды. Выделяются точки отбора проб ниже г. Улан-Батор на р. Туул, поскольку на них сказывается влияние очистных сооружений Улан-Батора.

МЕЛКОМАСШТАБНАЯ ОЦЕНКА ЗАЩИЩЁННОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НЕСОРБИРУЕМЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ НА РОССИЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ БАСЕЙНА РЕКИ ЗАПАДНАЯ ДВИНА

Руденко Е.Э., Белоусова А.П.

ФГБУН Институт водных проблем Российской академии наук

Москва, Россия

helenalenaru@gmail.com

По мере роста общего объёма загрязняющих веществ, поступающих в окружающую среду, роль подземных вод, включая грунтовые, как основных

жизнеобеспечивающих систем регионов постепенно будет возрастать. Подземные воды имеют тенденцию к загрязнению и истощению, о чем свидетельствуют данные мониторинга ПВ ФГУП «ГИДРОСПЕЦГЕОЛОГИЯ». В связи с этим, актуальной является региональная мелкомасштабная оценка защищенности подземных вод от загрязнения. Оценка защищенности подземных вод (ПВ) от загрязнения является необходимым этапом прогноза водообеспеченности регионов, т.к. она характеризует опасность загрязнения ПВ в условиях антропогенных нагрузок на водоносные горизонты. Для территории разных регионов страны (Смоленская, Тверская и Псковская области) она проводилась в масштабе 1:1500000, включая оценку природного потенциала защитной зоны и защищенности ПВ от загрязнения нейтральными загрязняющими веществами. Основные методические положения, которые следует учитывать при оценке и картировании защищенности грунтовых вод от загрязнения различного масштаба, представлены в [1–5]. Мелкомасштабная оценка базируется на качественных подходах, но в ряде случаев применяются простые расчеты интенсивности миграции нейтральных загрязняющих веществ через защитную зону, а также экспериментальные данные о скорости миграции загрязняющих веществ при оценке защищенности подземных вод.

Схематическая карта защитной зоны получается путем наложения почвенной карты, отображающей строение первого уровня защитной зоны [4–5] (за основу были приняты государственные почвенные карты [7]) и карты, характеризующие строение второго уровня защитной зоны (глубин залегания и инженерно-геологического строения зоны аэрации). Для построения карты глубины залегания грунтовых вод (ГВ) использовались изданные гидрогеологические карты [8]. Для характеристики второго уровня защитной зоны использовались изданные карты четвертичных отложений [9], на которых были обобщены сведения о литологии, водно-физических и фильтрационных свойствах пород зоны аэрации по всем генерализованным литолого-генетическим комплексам. На карте выделяются типовые участки, характеризующиеся определенным строением первого и второго уровней защитной зоны, и глубиной залегания ГВ. Затем были определены категории для характеристики природного потенциала защитной зоны и ее способности защитить ГВ от загрязнения любого типа (радионуклидов, тяжелых металлов, нитратов и др.). Защищенных ПВ в природе в настоящее время практически нет, о чем свидетельствует наличие нитратного загрязнения в глубоких водоносных горизонтах, а также существование «быстрых» путей миграции естественного и техногенного происхождения.

Выделены типы почв с учетом литологического строения, которым были присвоен вес от 1 до 9 по степени нарастания содержания гумуса и улучшения сорбционных свойств почв. Генетические типы пород генерализированы в два типа по литологическому строению, с обозначением веса по степени ухудшения фильтрационных и сорбционных свойств пород.

Выделены интервалы глубин, которым был присвоен свой вес по мере увеличения глубины (рис. 1): 0 – 1 м (1); 0 – 3 м (2); 3 – 5 м (3); 5– 10 м (4); 10 – 20 м (5). Для каждого типового участка рассчитывался суммарный вес. По

суммарным весовым показателям установлен защитный потенциал защитной зоны: 3 – 7 – слабый защитный потенциал; 8 – 12 – средний защитный потенциал; 13 – 16 – высокий (сильный) защитный потенциал; 13 – 16 – неоднозначный защитный потенциал от слабого до высокого для торфяных почв. Выделение этой категории связано с неоднозначными сорбционными свойствами торфяников. По данным одних исследователей они обладают наименьшей, а по данным других – наибольшей сорбционной способностью по отношению к различным загрязняющим веществам.

По выделенным категориям защитного потенциала построена схематическая карта защитной зоны на российской территории бассейна реки Западная Двина в масштабе 1: 1 500 000. На наибольшей части картографируемой территории защитная зона характеризуется средним защитным потенциалом, в долинах рек и прилегающим к ним территориям защитный потенциал ухудшается до слабого, а территории с высоким и неоднозначным защитным потенциалом имеют ограниченное распространение. Карта защитной зоны является базовой для построения карт защищенности и уязвимости ГВ к любым загрязняющим веществам.

Схематическая карта защищенности грунтовых вод от загрязнения нейтральными загрязняющими веществами. Для оценки возможного максимального загрязнения грунтовых вод нейтральными загрязняющими веществами (ЗВ), которые не сорбируются почвами и породами зоны аэрации, следует воспользоваться самой простой моделью переноса ЗВ – моделью поршневого вытеснения, когда интенсивность движения фронта инфильтрующейся влаги через защитную зону совпадает с интенсивностью миграции ЗВ. Защищенность ГВ от любого загрязняющего вещества зависит от времени достижения фронтом загрязненных инфильтрационных вод водоносного горизонта (t_3). Время прохождения растворенным в воде несорбируемым веществом толщи почв и пород зоны аэрации мощностью M вычисляли с использованием модели поршневого вытеснения [3]:

$$t_3 = \frac{M \theta n}{\nu} ; \quad (1)$$

где ν , м/сут – скорость просачивания инфильтрационного потока [6]:

$$\nu = \frac{1}{\theta} \sqrt[3]{W^2 k_\phi} , \quad (2)$$

θ – естественная влажность пород (в долях единицы),

θn – полная влагоемкость пород (в долях единицы);

W – инфильтрационное питание, м/сут;

k_ϕ – коэффициент фильтрации, м/сут.

Карта защищенности ПВ от загрязнения (рис.) строилась путем расчета времени (t_3) для каждого типового участка, выделенного на карте защитной зоны. К нейтральным загрязняющим веществам могут быть условно отнесены макрокомпоненты, нитраты и нефтепродукты.

**СХЕМАТИЧЕСКАЯ КАРТА ЗАЩИЩЁННОСТИ
ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ
НЕЙТРАЛЬНЫМИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИМИ
ВЕЩЕСТВАМИ НА РОССИЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ
БАСЕЙНА Р. ЗАПАДНАЯ ДВИНА
Масштаб 1:1 500 000**

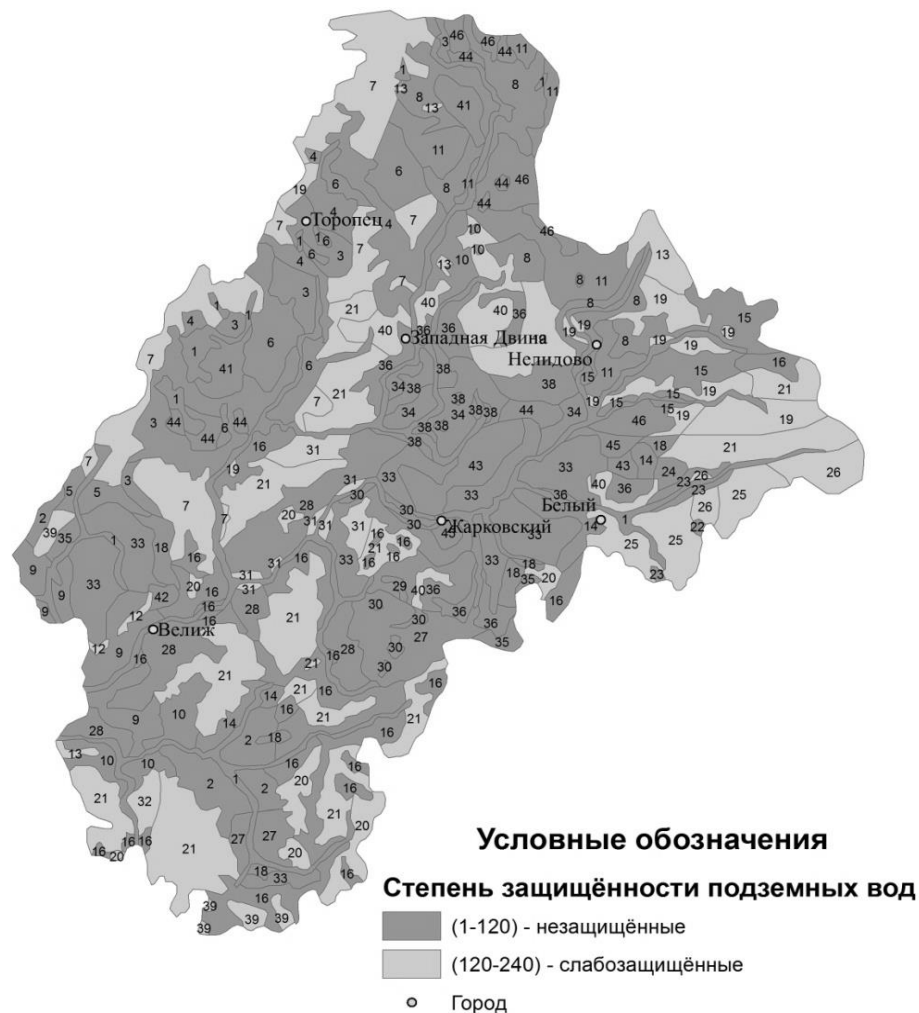


Рис. Схематическая карта защищенности подземных вод от загрязнения нейтральными загрязняющими веществами на российской территории бассейна р. Западная Двина

По интервалам времени (t_3) устанавливались категории защищенности ПВ от загрязнения нейтральными загрязняющими веществами (рис.):

- 1 – 120 сут. – незащищенные подземные воды;
- 120 – 240 сут. – слабо защищенные;
- 240 – 360 сут. – средне защищенные;
- более 360 сут. – условно защищенные.

Выводы

Условия защищенности ПВ от загрязнения нейтральными загрязняющими веществами на изучаемой территории следует отнести к неудовлетворительным.

Потенциал защитной зоны на изучаемой территории является явно недостаточным, чтобы препятствовать проникновению этих веществ через защитную зону в ПВ.

Степень защищенности ПВ от загрязнения токсичными загрязняющими веществами может быть оценена другими методами при исследованиях более крупного масштаба (1:100000, 1:200000).

Литература

1. Белоусова А.П. Качество подземных вод. Современные подходы к оценке. М.: Наука, 2001. 340 с.
2. Белоусова А.П. Основные принципы и рекомендации по оценке и картированию защищенности подземных вод от загрязнения // Водные ресурсы. 2003. Т. 30. № 6. С. 667–677.
3. Белоусова А.П. Ресурсы подземных вод и их защищенность от загрязнения в бассейне реки Днепр и отдельных его областей (Российская территория). М.: ЛЕНАНД, 2005. 168 с.
4. Белоусова А.П., Гавич И.К., Лисенков А.Б., Попов Е.В. Экологическая гидрогеология. Учебник для вузов. М.: Академкнига, 2006. 397 с.
5. Белоусова А.П. Особенности мелкомасштабной оценки защищенности подземных вод от загрязнения // Водное хозяйство России. 2015. № 2. С. 68-84.
6. Биндеман Н.Н. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод. М.: Госгеотехиздат, 1963. 203 с.
7. Государственная почвенная карта СССР. Масштаб 1:1000000. Академия наук СССР. Почвенный институт им. В.В. Докучаева М.: Главное управление геодезии и картографии МВД СССР, 1953.
8. Карта глубин залегания грунтовых вод Европейской части России. Масштаб 1:15000000. Гл. редактор А.Н. Семихатов. Министерство геологии и охраны недр СССР, ВСЕГИНГЕО, 1955.
9. Карта четвертичных отложений Европейской части СССР и прилегающих территорий. Масштаб 1: 15000000. Ред. И.И. Краснов. Министерство геологии СССР, ВСЕГЕИ, 1971.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ТЕРРИТОРИИ РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Мягкова К.Г.

*Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования Московской области «Университет «Дубна»,*

г. Дубна, Россия

Kristina3286@yandex.ru

Роль подземных вод в нормальном функционировании хозяйственного комплекса Рязанской области (рис. 1) чрезвычайно велика. Практически все

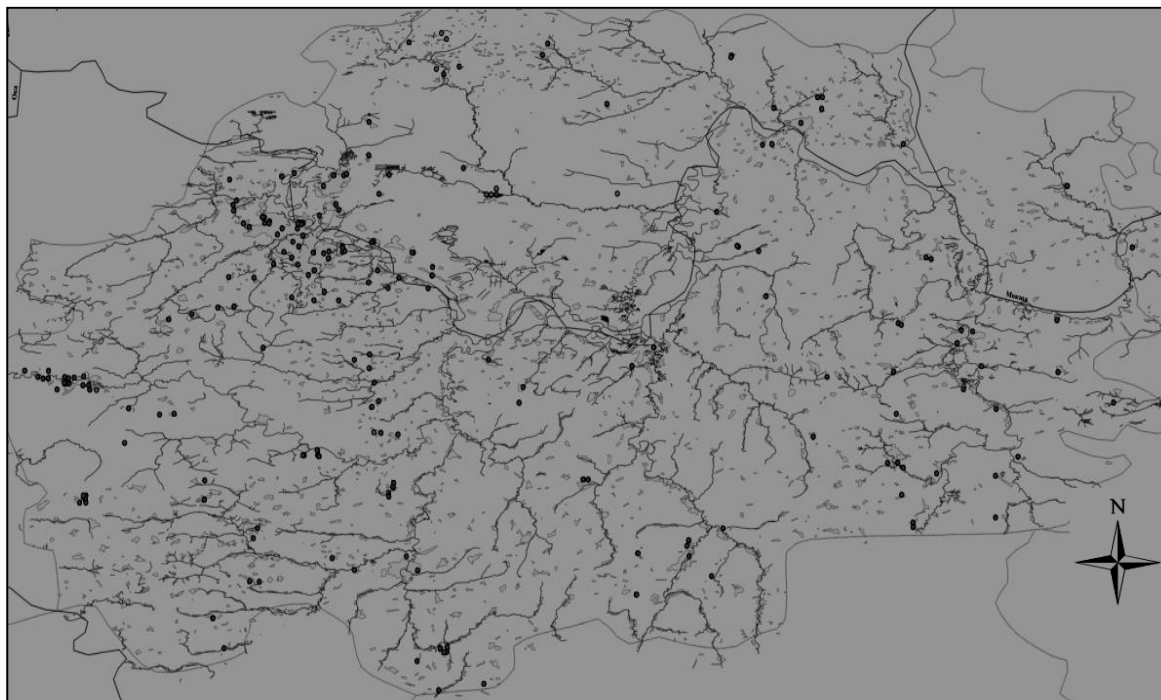
города, крупные и мелкие населенные пункты обеспечиваются водой за счет подземных водоносных горизонтов. Исключение составляет г. Рязань, обеспечение которого водой на 80% основано на поверхностном стоке р. Оки. Рязанская область - одна из самых обеспеченных водными ресурсами. Гидрографическая сеть области представлена бассейнами рек Ока и Дон. Территория расположена в пределах двух структур первого порядка: на юго-восточном крыле Московской синеклизы и в северо-западной части Рязано-Саратовского прогиба [1].

В гидрогеологическом отношении территория области находится в основном в пределах Московского артезианского бассейна, охватывающего ее западную и центральную части. Небольшие части территории к востоку от Окско-Цнинского вала относятся к Волго-Камскому и Сурско-Хоперскому артезианским бассейнам. Основными водоносными горизонтами, служащими для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения, являются касимовский (C_3ksm), подольско-мячковский (C_2pd-mc), каширский (C_2ks), окско-тарусский (C_1ok-tr), заволжский (D_3zv) [6].

Основные гидрогеологические закономерности территории определяются расположением ее в зоне сочленения трех крупных тектонических структур: Московской синеклизы, Волго-Уральской и Воронежской антеклиз. В основном, все месторождения подземных вод с утвержденными запасами сосредоточены в Рязани и в административных районах в западной (промышленной) части области. Хозяйственно-питьевое водоснабжение населения области, за исключением Рязани, осуществляется полностью за счет подземных вод.

Наибольший интерес для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения представляют современные и древние аллювиальные отложения (а IV, а II-III), широко распространенные в долинах рек Оки, Москвы, Клязьмы, Пры, Судогды и др. В юго-западной части Мещерской низины по левобережью Оки ширина первой и второй надпойменных террас достигает 25 - 30 км. Общая мощность этих отложений составляет 6 – 10 м по долинам рек, по долинам Оки и Клязьмы – до 20 и более м. Основная причина потерь воды хозяйственно-питьевого назначения при транспортировке на предприятиях жилищно-коммунального хозяйства - изношенность водопроводных сетей и оборудования. Качество артезианской воды по химическим показателям в подземных источниках не соответствует стандарту по содержанию железа, фтора и частично солей жесткости, что обусловлено природным составом воды (рис. 2).

Рис. 1. Расположение пунктов наблюдений за подземной гидросферой на территории Рязанской области



Химический состав подземных вод Рязанской области. Особенности геолого-структурных, гидрогеологических и физико-географических условий определяют гидрохимический режим подземных вод области. По данным государственного учета вод, в области эксплуатируется более 3,5 тыс. водозаборных скважин. Качество подземных вод, в основном соответствует ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая», однако в ряде водозаборов выявлено превышение норм предельно-допустимых концентраций по железу общему, магнию, марганцу и цинку [6].

Подземные воды первых от поверхности водоносных горизонтов характеризуются повышенным содержанием общего железа. $\text{ПДК}_{\text{рыб.}} = 0,1$ мг/л [3]. Содержание железа колеблется в пределах 0,05-4,5 мг/л. Исключение составляют 1982 и 1990 гг., когда было обнаружено 8,6 мг/л, что возможно считать случайным явлением в связи с залповыми сбросами сточных вод. Также к наиболее распространенным загрязняющим веществам, концентрации которых превышали ПДК, относятся азотсодержащие соединения (рис. 3).

Азотсодержащие вещества (нитраты NO_3^- , нитриты NO_2^- и аммонийные соли NH_4^+) почти всегда присутствуют во всех водах, включая подземные (рис. 3-5), и свидетельствуют о наличии в воде органического вещества животного происхождения. Рассматриваемая группа ионов находится в тесной взаимосвязи [4]. Так, значения аммонийного азота в подземных водах колебались от 0,05 до 0,6 мг/л.

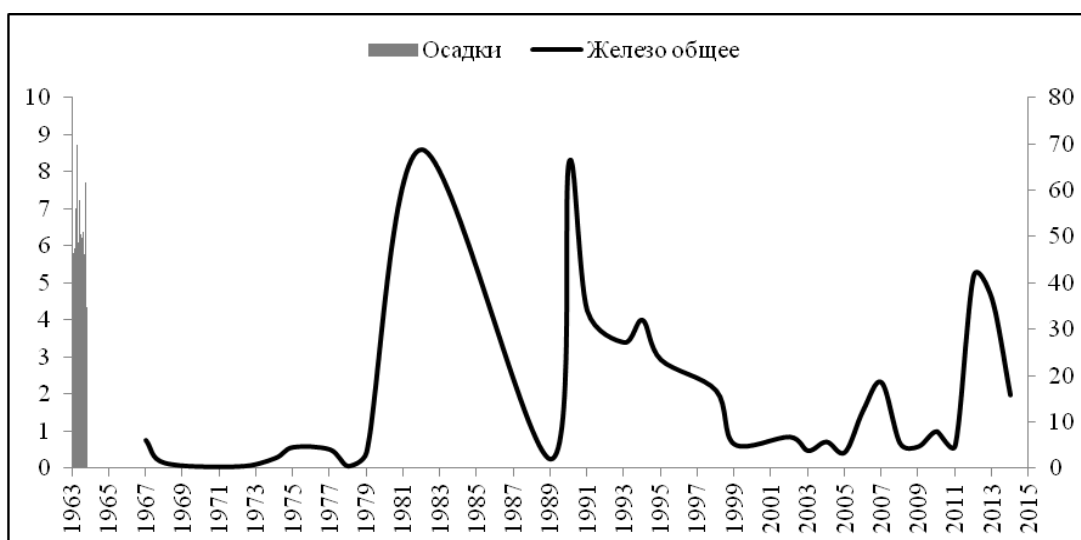


Рис. 2. Концентрация $Fe_{общ}$ в подземных водах Рязанской области

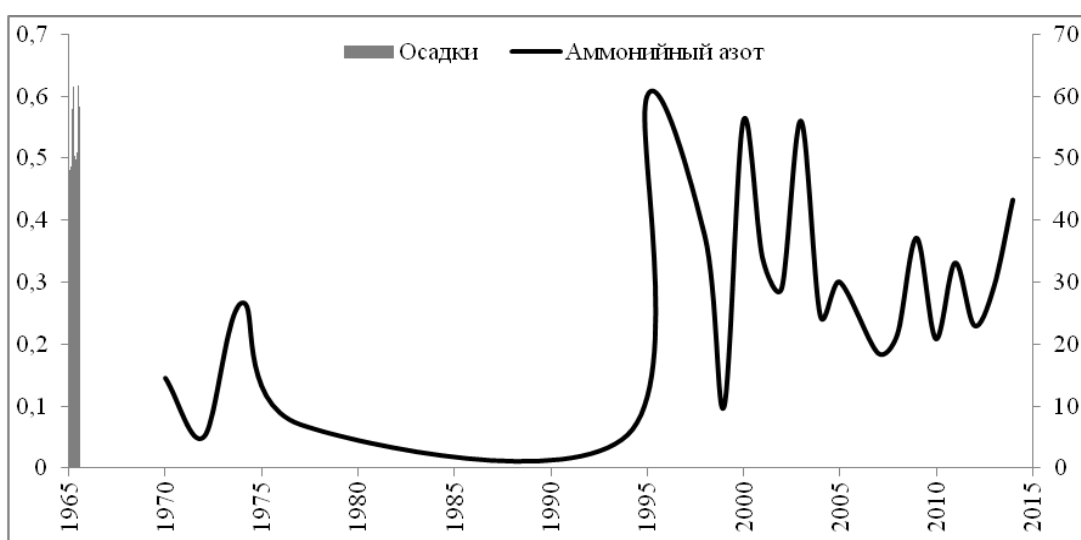


Рис. 3. Концентрация аммонийного азота в подземных водах Рязанской области

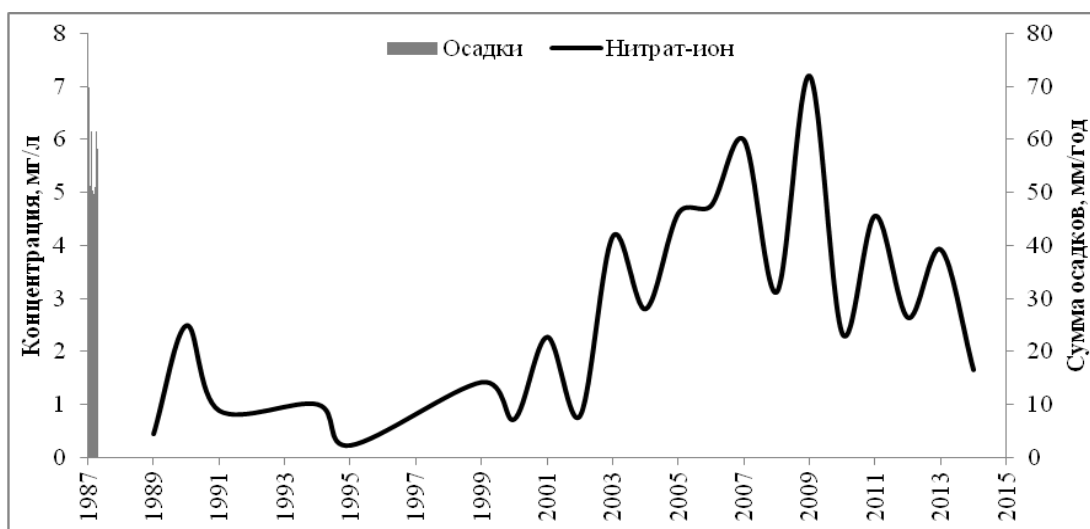


Рис. 4. Концентрация нитрат-иона в подземных водах Рязанской области

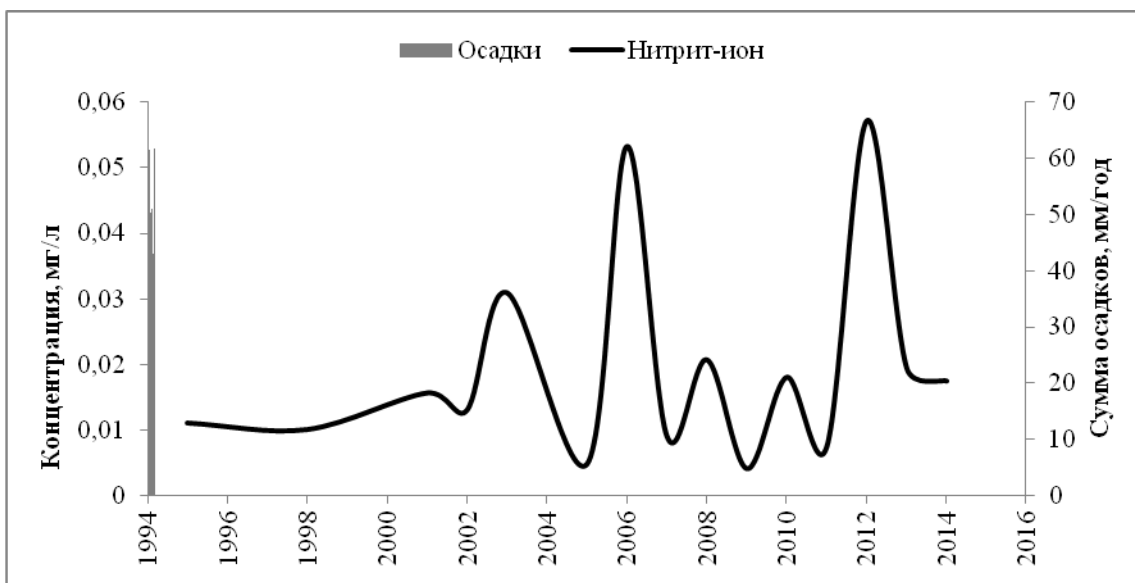


Рис. 5. Концентрация нитрит-иона в подземных водах Рязанской области

Концентрация нитрат-иона в подземных водах Рязанской области не превышала предельно допустимых концентраций. Диапазон изменений составил 0,2 – 5,9 мг/л. Хлориды присутствуют практически во всех водах. ПДК хлоридов в воде питьевого качества – 300 - 350 мг/л [2]. Из графика (рис. 6) следует, что превышений ПДК не выявлено. Сульфаты (рис. 7) попадают в подземные воды в основном при растворении гипса, находящегося в пластах. ПДК сульфатов в воде питьевого качества - 500 мг/л [3].

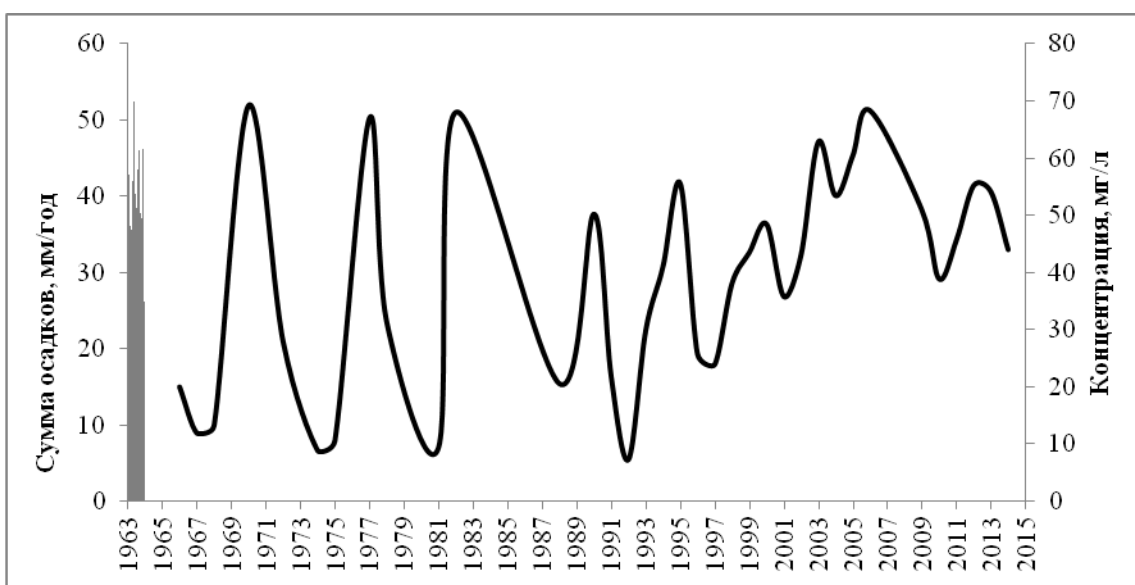


Рис. 6. Концентрация хлоридов в подземных водах Рязанской области

В основном, загрязнение подземных вод сконцентрировано в центральных и западных районах области. Главным источником загрязнения подземных вод является промышленный, сельскохозяйственный и коммунальный сектор хозяйства, изучаемого региона.

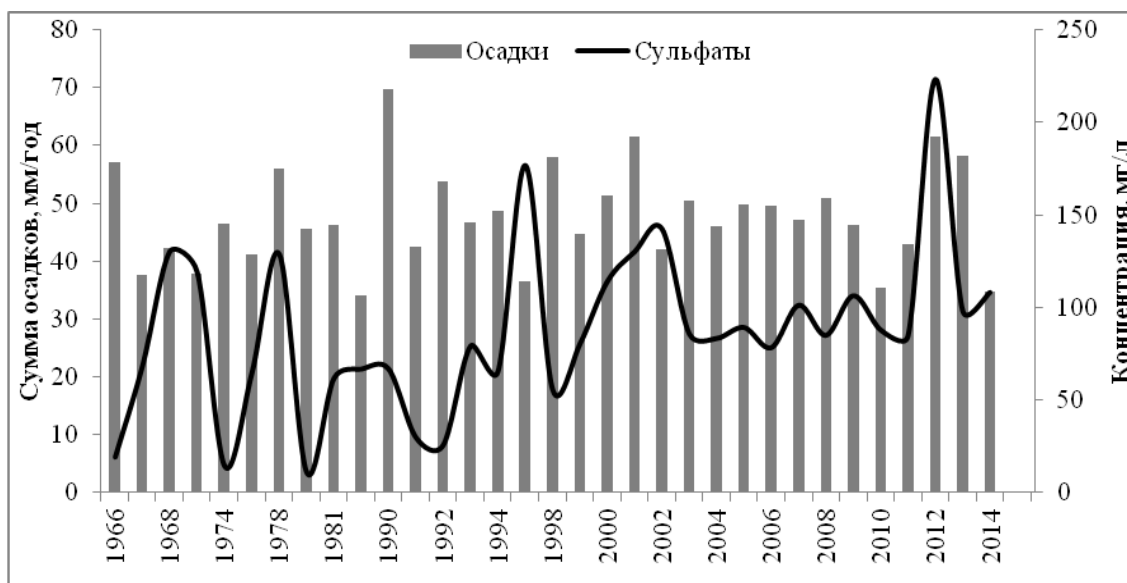


Рис. 7. Концентрация сульфатов в подземных водах Рязанской области

Особенности режима подземных вод Рязанской области. Метеорологические факторы (осадки, испарение, температура воздуха, атмосферное давление) – являются основными в формировании режима подземных вод. Они вызывают сезонные и годовые (многолетние) колебания уровня, а также изменения температуры и расхода грунтовых вод. Питание водоносных горизонтов происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков, вследствие чего, колебание уровней подземных вод носит сезонный характер [5]. В основном, скважины с ростом уровня грунтовых вод расположены вблизи мелких водных объектов по удалению от основного водотока р. Оки. Скважины с понижением уровня грунтовых вод расположены непосредственно вблизи крупных водоемов и рек, либо на незначительном удалении от них. Водоносные горизонты являются источником централизованного водоснабжения населения и предприятий. Нарушенность режима подземных вод четвертичных отложений определяется исключительно режимом водоотбора. Интенсивная эксплуатация оказала значительное влияние на процессы водообмена данного региона.

Практический интерес для целей водоснабжения имеют водоносные горизонты и комплексы зоны активного водообмена, приуроченные к четвертичным, мезо-кайнозойским, каменноугольным и девонским отложениям. Подземные воды четвертичных отложений (рис. 8) представляют собой сложно построенный комплекс обводненных болотных, аллювиальных, ледниковых и водно-ледниковых образований, практически сплошным чехлом перекрывающих мезозойские и палеозойские отложения. Четвертичные водоносные горизонты отличаются по литологическому составу водовмещающих пород, водообильности и подверженности техногенному загрязнению. Они находятся в зоне активного водообмена, основным источником питания этих вод являются атмосферные осадки.

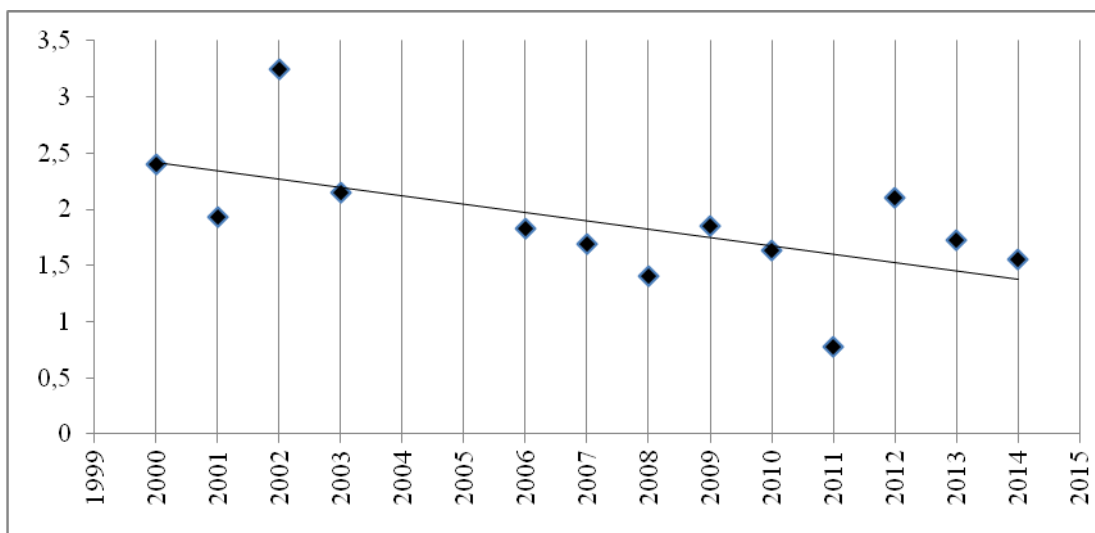


Рис. 8. Изменение уровня грунтовых вод в четвертичных отложениях

Юрско-меловой водоносный комплекс (рис. 9) эксплуатируется зачастую совместно с четвертичными отложениями. Водовмещающие породы представлены перемежающимися, невыдержанными по простиранию, слоями кварцево-глауконитовых песков и глин, с прослоями глин, алевроитов, алевролитов и песчаников. Мощность обводненной толщи колеблется от первых метров до 50-100м. Юрско-меловые водоносные комплексы отделяются от нижележащих выдержанным по мощности келловей-киммериджским (J2k-km) водоупором. Воды пресные, гидрокарбонатные, кальциевые или кальциево-магниевые, с минерализацией 0,2-0,7 г/л. Для вод комплекса характерно повышенное содержание марганца (1-3 ПДК) и железа.

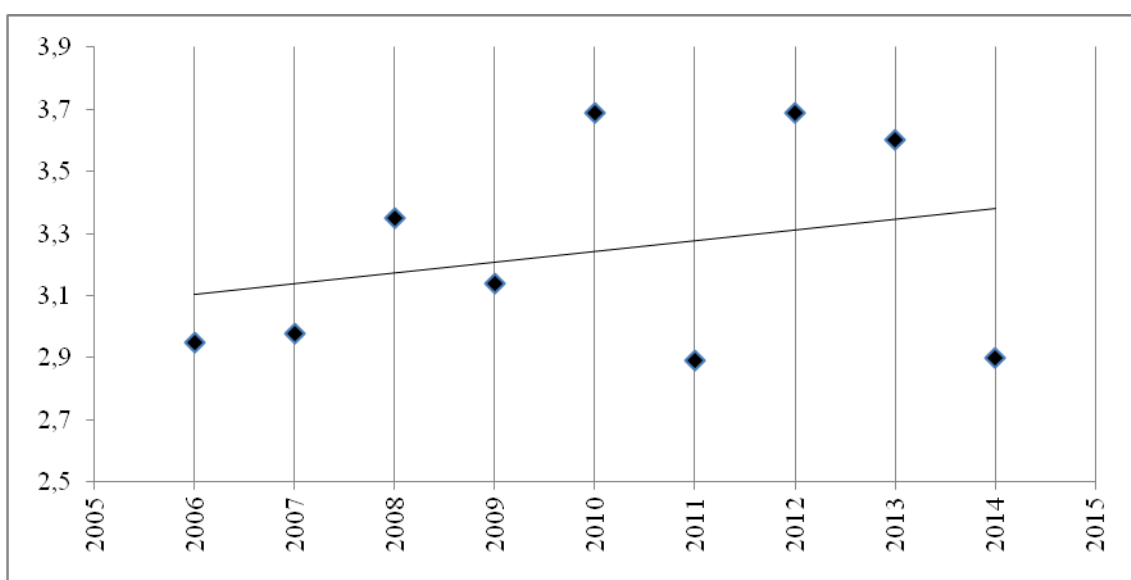


Рис. 9. Изменение уровня грунтовых вод в юрских отложениях

Подземные воды каменноугольных отложений (рис. 10) распространены почти повсеместно на описываемой территории и отсутствуют только в

осевой части Воронежской антеклизы (Орловская область). В пределах Московского АБ к ним приурочены основные эксплуатационные водоносные горизонты и комплексы: гжельско-ассельский (C_{3g-P1a}), касимовский (C_{3ksm}), подольско-мячковский (C_{2pd-mc}), каширский (C_{2ks}), алексинско-тарусский (C_{1al-tr}), бобриковско-тульский (C_{1bb-tl}) и малевско-ильичевский (C_{1ml-il}). Они являются основными источниками водоснабжения для Московской, Калужской, Владимирской, Смоленской, Тульской и Рязанской областей. Все перечисленные водоносные горизонты и комплексы на большей части территории надежно изолированы один от другого и различаются по условиям питания, характеру дренирования и режиму подземных вод.

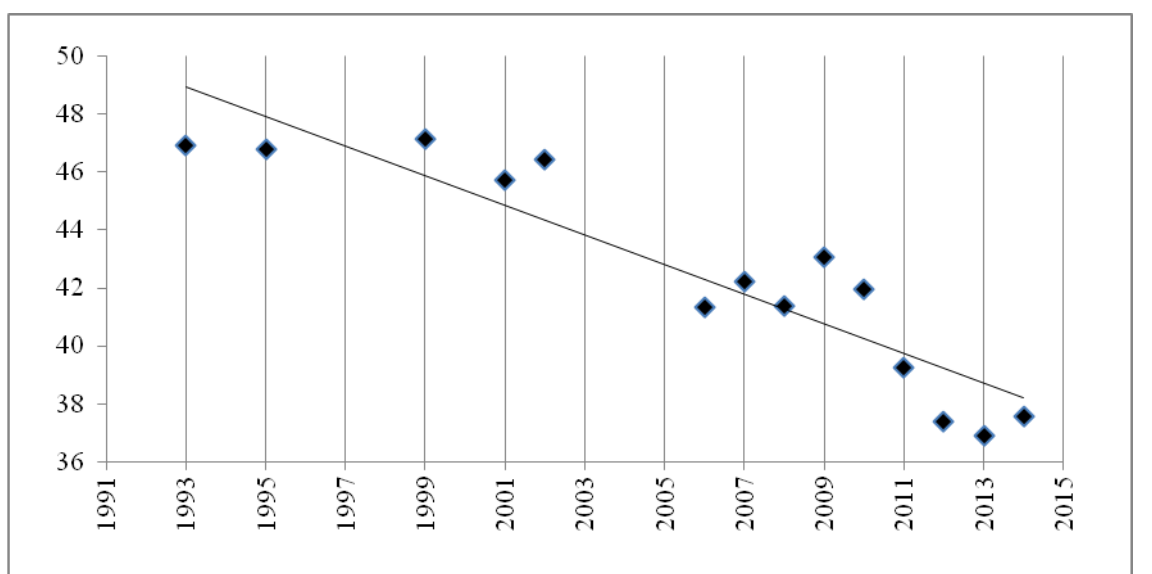


Рис. 10. Изменение уровня грунтовых вод в каменноугольных отложениях

Как видно из представленных графиков 1 – 9, с каждым годом происходит понижение уровня грунтовых вод. Изменение уровня в пределах области связано в основном с колебанием объемов водопотребления для хозяйственно-питьевых нужд и утечек при транспортировке.

Заключение

Общие закономерности формирования подземного стока на изучаемой территории являются следствием влияния трех природных факторов: климатических особенностей, рельефа местности и структурно-гидрогеологического строения.

По данным опробования подземных вод по наблюдательным скважинам Рязанской области, можно сделать вывод о том, что существует тенденция изменения гидрохимического стока. В наблюдательных пунктах качество подземных вод на большей части изучаемой территории в основном соответствует нормативным требованиям. Ухудшение качества подземных вод наблюдается непосредственно вблизи крупных населенных пунктов, таких как г. Рязань.

Изучение подземного стока и определение его количественной характеристики может обеспечить успешное решение ряда хозяйственных задач, связанных с комплексным использованием и охраной водных ресурсов, целенаправленным управлением поверхностным и подземным стоком, прогнозированием минимальных расходов рек для гидроэнергетического проектирования, судоходства, лесосплава, ирригации, водоснабжения и других отраслей народного хозяйства.

Литература

1. Авдеев И.В., Юхина И.Н., Пронькин В.Н. Доклад об экологической ситуации в Рязанской области в 2014 году. Рязань, 2015. 135 с.
2. Ковалевский В.С. Влияние изменений гидрогеологических условий на окружающую среду. М: Наука, 1994. 138 с.
3. Михайлов В.Н., Добровольский А.Д., Добролюбов С.А. Гидрология. М: Высшая школа, 2007. 463 с.
4. Никаноров А.М. Региональная гидрохимия. Ростов/Д: Изд-во «НОК», 2011. 388 с.
5. Шварцев С.Л. Общая гидрогеология: Учебник для вузов. М.: Недра, 1996. 423 с.
6. Геолого-гидрогеологические условия Рязанской области // Геоцентр-Москва URL: Геолого-гидрогеологические условия Рязанской области (дата обращения: 25.08.2016). Режим доступа: свободный.

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БИОХИМИЧЕСКОЙ ПОТРЕБНОСТИ В КИСЛОРОДЕ И КОНСТАНТЫ СКОРОСТИ БИОХИМИЧЕСКОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ КИСЛОРОДА МЕТОДОМ ИТЕРАЦИЙ¹

Проваторова В.С.¹, Азимов А.А.², Готовцев А.В.¹

¹*Институт водных проблем Российской академии наук
Москва, Россия*

²*Национальная научная лаборатория коллективного пользования
информационных и космических технологий, Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева
Алматы, Казахстан*

amarilllis@yandex.ru, anvar.aa@mail.ru, gotov44@mail.ru

Биохимическая потребность воды в кислороде и коэффициент скорости биохимического потребления кислорода являются важнейшими показателями качества воды. В работе приводится формулировка численно-аналитического метода решения обратной задачи замкнутой системы Стритера–Фелпса. Суть предлагаемого метода в использовании непрерывности и дифференцируемости функционала, минимум которого требуется найти. Задача нахождения минимума функционала (суммы квадратов отклонений экспериментальных точек от теоретической кривой) сводится к нахождению

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 14-17-00672).

корней системы трансцендентных уравнений.

Динамика растворенных в воде кислорода и органического вещества при условии отсутствия поступления в водный объем органики и кислорода извне описывается следующими уравнениями [1]:

$$\begin{aligned}\frac{dL}{dt} &= -k_0 \frac{C}{C_s} L, \\ \frac{dC}{dt} &= -k_0 \frac{C}{C_s} L.\end{aligned}\quad (1)$$

где t – время; L – концентрация растворенного органического вещества, выраженная в кислородных единицах; C – концентрация растворенного кислорода; C_s – концентрация кислородного насыщения; k_0 – константа скорости биохимического потребления кислорода.

Уравнения (1) определяют процессы, происходящие в анализируемой пробе воды, помещенной в герметичную (чтобы исключить поступление кислорода из атмосферного воздуха) и темную (чтобы исключить фотосинтез) колбу при определении величины биохимического потребления кислорода. (Заметим в скобках, что система дифференциальных уравнений (1) описывает также и процессы биохимического потребления кислорода в покрытых льдом речных руслах и водоемах). Решение системы (1) при начальных условиях

$$L(0)=L_0, \quad C(0)=C_0, \quad (2)$$

где L_0 и C_0 – начальные значения концентраций растворенного органического вещества и растворенного кислорода, соответственно, имеют вид:

$$X(t) = \frac{C_0 L_0 \left[1 - \exp\left(k_0 \frac{C_0 - L_0}{C_s} t\right) \right]}{L_0 - C_0 \exp\left(k_0 \frac{C_0 - L_0}{C_s} t\right)}. \quad (3)$$

Здесь введена новая переменная $X(t)$:

$$X(t) = C_0 - C(t) \quad (4)$$

Использование этой переменной обусловлено тем, что в практике мониторинга качества вод общепринято публиковать в гидрохимических отчетах не концентрацию растворенного кислорода $C(t_i)=C_i^*$ (результат гидрохимического измерения), а связанную с ней величину $X(t_i)=X_i^*$, называемую «биохимическое потребление кислорода за инкубационный период времени t_i » и определяемую равенством (4). (Отметим, что L_0 – биохимическая потребность в кислороде, а k_0 – константа скорости биохимического потребления кислорода).

Постановка обратной задачи. Параметры L_0 и k_0 в системе (1), (2) и, следовательно, в решении (3) – (4) являются априори неизвестными. Для их определения требуются экспериментальные измерения биохимического

потребления кислорода одной и той же пробы воды для разных периодов инкубации

$$X(t_i) = X_i^*, i = 1, \dots, N, \quad (5)$$

где N – число гидрохимических измерений (равное числу инкубационных периодов). Очевидно, что поскольку искомыми являются два параметра (L_0 и k_0), то число измерений должно быть не менее двух ($N \geq 2$), так как в противном случае обратная задача будет иметь бесчисленное множество решений.

Аналитическое решение обратной задачи системы (3) – (5) для частного случая двух гидрохимических измерений ($N=2$), когда отношение их периодов инкубации равно двум ($\frac{t_2}{t_1} = 2$), было получено в работе [1]:

$$L_0 = \frac{X_T^2 (C_0 - X_{2T})}{2C_0 X_T - X_T^2 - C_0 X_{2T}},$$

$$k_0 = \frac{C_s (2C_0 X_T - X_T^2 - C_0 X_{2T})}{T(C_0 - X_T)(2C_0 X_T - X_T X_{2T} - C_0 X_{2T})} \ln \left(\frac{X_T (C_0 - X_{2T})}{C_0 (X_{2T} - X_T)} \right). \quad (6)$$

Количественный и качественный анализ формул (6), а также таблицы, построенные по этим формулам, приведены в работе [2].

В случае, когда $\frac{t_2}{t_1} \neq 2$ или $N > 2$, формулы (6) и таблицы [2] «не работают», поэтому возникает необходимость в методике определения значений L_0 и k_0 для общего случая. Сформулируем постановку обратной задачи для произвольного набора экспериментальных измерений вида (5) следующим образом: определить значения L_0 и k_0 так, чтобы теоретическая кривая (3) наиболее близко проходила от экспериментальных точек (5). В качестве критерия примем минимум суммы квадратов отклонений экспериментальных точек (5) от теоретической кривой (3):

$$J = \sum_{i=1}^N [X_i^* - X(t_i, L_0, k_0)]^2 \rightarrow \min. \quad (7)$$

Алгоритм решения задачи (3) – (5), (7) методом градиентного спуска и примеры решения для случая $N=4$ приведены в работе [3]. Анализ численного решения, полученного в работе [4] методом градиентного спуска для частного случая $N=2$, $\frac{t_2}{t_1} = 2$, показал, что численное решение можно с достаточной точностью приблизить к аналитическому решению (6).

В данной работе в качестве альтернативы «градиентному спуску», предлагается «численно-аналитический метод итераций», суть которого состоит в следующем. Воспользовавшись свойством непрерывности и

дифференцируемости функционала (7), потребуем выполнения необходимых условий экстремума:

$$\begin{aligned}\frac{\partial J}{\partial L_0} &= 0, \\ \frac{\partial J}{\partial k_0} &= 0.\end{aligned}\quad (8)$$

Из (7) с учетом (3) получим

$$\begin{aligned}\frac{\partial J}{\partial L_0} &= 2 \sum_{i=1}^N \left\{ [X_i^* - X(t_i, L_0, k_0)] \frac{\partial X(t_i, L_0, k_0)}{\partial L_0} \right\} = 0, \\ \frac{\partial J}{\partial k_0} &= 2 \sum_{i=1}^N \left\{ [X_i^* - X(t_i, L_0, k_0)] \frac{\partial X(t_i, L_0, k_0)}{\partial k_0} \right\} = 0.\end{aligned}\quad (9)$$

Система (9) содержит два трансцендентных уравнения и две неизвестные величины: L_0 и k_0 . Таким образом, решение экстремальной задачи, сформулированной соотношениями (3) – (5), (7), сводится к нахождению корней системы трансцендентных уравнений (9).

Для решения поставленной выше обратной задачи вычислим частные производные (9) с учетом (7). Чтобы не загромождать текст доклада «длинными» формулами, введем новые обозначения: $L = L_0$, $k = k_0$, $C = C_0$, $S = C_s$.

В выбранных обозначениях уравнение (3) запишется следующим образом:

$$X(i) = C * L * (1 - Y(i)) / (L - C * Y(i)), \quad (10)$$

где i – номер эксперимента по измерению биохимического потребления кислорода; $t(i)$ период инкубации i -го эксперимента (продолжительность нахождения пробы воды в колбе); $Y(i) = \exp(k * t(i) * (C - L) / S)$.

Используя (10), найдем частные производные:

$$\begin{aligned}\frac{\partial X(i)}{\partial L} &= C * (S * (C * Y(i)) - L) * (Y(i) - 1) - L * k * t(i) * (C * Y(i) - L) + L * (S + L * k * t(i)) * (Y(i) - 1) / Z(i) \\ \frac{\partial X(i)}{\partial k} &= C * L * k * t(i) * (C - L) * (C * Y(i) - L * (Y(i) - 1) - L) / Z(i),\end{aligned}\quad (11)$$

где $Z(i) = S * (C * Y(i) - L) ** 2$.

Далее организуется итерационный процесс, фрагмент алгоритма которого на языке «Python 2» приводится ниже:

```
from math import *
def solve(XE, M, n, t, L0, k0, C, S, gL, gk, epsilon):
```

```

L0, k0 = [0] * M, [0] * M
Sumk, SumL = [0] * M, [0] * M
X, Y = [], []
dXk, dXL = [], []
for j in range (1, M+1):
    L, k = L0[j-1], k0[j-1]
    for i in range(1, n+1):
        Y.append(exp(k*t[i]*(C-L) / S))
        X.append(C*L*(1-Y[i]) / (L-C*Y[i]))
        dXL.append(S*(C*Y[i]-L)*(Y[i]-1)- L*k*t[i]*(C*Y[i]-L)+
L*(S+L*k*t[i]*(Y[i]-1))
        Z = S*(C*Y[i]-L) ** 2
        dXL[i] = C*dXL[i] / Z
        dXk[i] = (C*L*t[i]*(C-L)*(C*Y[i]-L*(Y[i]-1)-L)) / Z
        SumL[j] = SumL[j]+(XE[i]-X[i])*dXL[i]
        Sumk[j] = Sumk[j]+(XE[i]-X[i])*dXk[i]
        L0[j] = L+gL*SumL[j]
        k0[j] = k+gk*Sumk[j]
    if abs(SumL[j])+abs(Sumk[j]) < epsilon:
        return L, k.

```

Заключение

Отладочные расчёты, выполненные по приведенному выше алгоритму для частного случая $N=2$, $\frac{t_2}{t_1} = 2$, показали, что численное итерационное решение можно с достаточной точностью приблизить к аналитическому решению (6).

Сравнение результатов численного решения по итерационному алгоритму с решением по алгоритму градиентного спуска [3] показало, что существует некий «порог точности», не позволяющий добиться сколь угодно близкого совпадения. Вероятно, этот факт объясняется тем, что требование «сколь угодно близкого» совпадения двух приближенных (численных) решений является не вполне корректным в случае, когда точность «эталонного» метода фиксирована.

В процессе отладки предлагаемого метода были использованы некоторые алгоритмические элементы (не вошедшие в приведенный выше фрагмент), позволяющие ускорить итерационный процесс.

Литература

1. Готовцев А.В. Новый способ вычисления БПК и скорости биохимического окисления на основе замкнутой системы уравнений Стритера – Фелпса // Водные ресурсы. 2014. Т. 41. № 3. С. 325–329.
2. Готовцев А.В. Определение БПК и коэффициента скорости биохимического потребления кислорода: мониторинг, прямая и обратная задачи, формулы, расчеты и таблицы // Водные ресурсы. 2016. Т. 43. № 6. С. 633–647.
3. Азимов А.А., Готовцев А.В., Нурсейтов Д.Б., Джамалов Д.К. Численное решение обратной задачи замкнутой системы Стритера–Фелпса для произвольных периодов

инкубации// Российский Фонд фундаментальных исследований, Институт аридных зон, Южный научный центр Российской академии наук, Южный федеральный университет. Сб. статей «Экология, Экономика, Информатика. Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. Математические методы и модели в исследованиях окружающей среды». Т. 1. Ростов-на-Дону, 12-16 сентября 2016. С. 17-25.

4. Азимов А.А., Готовцев А.В., Нурсеитов Д.Б., Джамалов Д.К. Численное решение обратной задачи замкнутой системы Стритера–Фелпса для двух периодов инкубации // Водные ресурсы Центральной Азии и их использование. Мат-лы Межд. научно-практ. конф., посвященной подведению итогов объявленного ООН десятилетия «Вода для жизни». Кн. 1. Алматы, Казахстан, 22–24 сентября 2016. С. 56-63.