

ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД
НА ВОДОЗАБОРАХ ПРИОЗЕРНОГО ТИПА

© 2017 г. В. Л. Злобина*, Ю. А. Медовар

*Институт водных проблем РАН
119333 Москва, ул. Губкина, 3***E-mail: zlobina45@mail.ru*

Поступила в редакцию 28.03.2016 г.

Обобщены результаты многолетних гидрогеохимических наблюдений на ряде водозаборах Валдайской возвышенности. Исследованы особенности формирования качества подземных вод, залегающих в закарстованных карбонатных отложениях. Проанализирована степень взаимосвязи эксплуатируемых водоносных горизонтов с накоплением некоторых токсикантов в донных отложениях озерных систем.

Ключевые слова: водоотбор, озерные системы, подземные воды, гидрогеохимия, донные отложения, трансформация.

DOI: 10.7868/S0321059617010230

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ

Многолетнее загрязнение атмосферных осадков, почвенного покрова, поверхностных вод (речные и озерные системы) вызвало существенное ухудшение качества подземных вод на территориях месторождений, приуроченных к береговым зонам водотоков и водоемов [1, 2, 6].

Появление широкого спектра различных токсикантов (Zn, Cu, Ni, Cr, Pb и др.) в эксплуатируемых водоносных горизонтах обусловлено их присутствием в поверхностных водах и донных отложениях (ДО) [4, 7]. В подземных водах появляются, наряду с приведенными химическими элементами, поверхностно-активные соедине-

ния, органические вещества и микроорганизмы [6, 7].

В табл. 1 приведены данные, характеризующие степень изменения концентраций некоторых соединений в поверхностных водах после их инфильтрации в эксплуатируемый водоносный горизонт.

При сопоставлении данных табл. 1 видно, что для многих показателей, установленных для поверхностных вод, отмечается значительное уменьшение их содержания в водоносном горизонте. Наблюдаемый эффект может быть обусловлен влиянием ДО, а также различных физических и геохимических процессов в подземной

Таблица 1. Диапазоны изменения концентраций некоторых компонентов при фильтрации из водотока в водоносный горизонт

Компонент	В поверхностных водах	В водоносном горизонте
NH ₄ , мг/л	0.18–0.25	0.03–0.19
Al ³⁺ , мг/л	22.5–36	5
As, мг/л	1.5	0.7
Zn, мг/л	40	10
NO ₃ ⁻ , мг/л	15.1	10.8
DOC, мг/л	2.7–3.8	0.8
HCO ₃ ⁻ , мг-экв/л	3.8	1.4
Растворенный O ₂ , мг/л	12.1	4.2
pH	7.91	6.75

Таблица 2. Характер трансформации некоторых показателей при фильтрации из водотока в водоносный горизонт

Компонент	Концентрации компонентов	
	в поверхностных водах	в водоносном горизонте
Ca ²⁺ , мг/л	58.6	84.1
Fe, мг/л	0.98	2.65
Mn, мг/л	0.13	1.04

гидросфере (разбавление, смешение, адсорбция, биодegradация органических веществ, растворение и др.).

Иная ситуация – для Ca²⁺, Fe и Mn. Данные табл. 1 показывают, что концентрации перечисленных элементов возрастают в водоносном горизонте после фильтрации поверхностных вод через ДО. Увеличение концентраций Ca²⁺ в водоносном горизонте можно объяснить выщелачиванием карбонатных минералов. Внедрение поверхностных вод в подземную гидросферу способствует нарушению кислотно-щелочного равновесия с усилением углекислотного режима [1].

Увеличение концентраций рассматриваемых химических компонентов в водоносном горизонте может быть обусловлено сменой окислительно-восстановительных условий и активизацией различных геохимических взаимодействий.

Обобщение данных многолетних наблюдений показало, что на трансформацию поверхностных вод влияет сезон года (паводок, межень). Гидрологические циклы отражаются на динамичном изменении концентраций макро- и микроэлементов, на щелочно-кислотных условиях.

Отсутствие данных о характере изменения величин еН и рН в рассматриваемой системе не позволяет установить закономерности трансформации макро- и микроэлементов в системе водоток–водоносный горизонт.

Существенное влияние свойств поверхностных вод на качество подземных вод в береговых зонах речных долин отражают данные табл. 1 и 2. На сегодняшний день недостаточно исследованы процессы трансформации качества подземных вод на водозаборах, примыкающих к озерным котловинам.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились на Валдайской возвышенности, основная особенность которой – распространенность многочисленных озерных котловин ледникового генезиса [4, 5].

На Валдайской возвышенности песчано-глинистые отложения четвертичного возраста сплош-

ным чехлом перекрывают карбонатные закарстованные породы палеозоя, в которых сосредоточены месторождения пресных подземных вод заволжского водоносного горизонта. На рассматриваемой территории мощность четвертичных отложений изменяется от нескольких метров до десятков метров (от 8 до 170 м). В рыхлой песчано-глинистой толще выявлено несколько водоносных горизонтов, разгрузка подземных вод из которых происходит в озерные котловины. На рассматриваемой территории расположены десятки родниковых систем.

Четвертичные отложения характеризуются значительной изменчивостью литологического состава по горизонтали и вертикали. При этом в озерных котловинах четвертичные отложения размыты и карбонатные породы палеозоя непосредственно контактируют с донными отложениями.

На рисунке приведена схема расположения водозаборов в береговой зоне озерной системы. Водозаборные скважины оборудованы на глубинах от 70 до 195 м.

В естественных условиях зона разгрузки подземных вод – озерные котловины. Увеличение количества водозаборных скважин и многолетний водоотбор подземных вод изменили направление геофильтрационного потока от озерных котловин к водозаборам (рисунок). Этому способствовали увеличение объемов отбираемых вод и значительные глубины вреза озерных котловин в денудированные карбонатные отложения.

ТЕХНОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ОЗЕРНЫХ СИСТЕМ

Степень освоения приозерных территорий ежегодно возрастает, что существенно нарушает состояние водоохраных зон.

Для береговых водозаборов озерные системы – одна из основных составляющих водоотбора при их эксплуатации. Многолетние (1987–2010 гг.) исследования озерных систем Валдайской возвышенности установили сложный характер их гидрогеохимических свойств из-за влияния внешних и внутренних факторов [4, 5].

Гидравлическая взаимосвязь озерных вод с эксплуатируемыми водоносными горизонтами может негативно сказаться на активизации процессов выщелачивания в закарстованных водовмещающих породах. Выполненные авторами оценки показали, что для озерных систем Валдайской возвышенности характерно небольшое время вообмена – до 5 лет. И только для Валдайского озера оно составляет до 9 лет.

Многолетнее закисление атмосферных осадков (снег, дождь, аэрозоли) уже сказалось на изменении качества вод озер Валдайской возвышенности (Борое, Короцкое, Брезгово, Долгое,

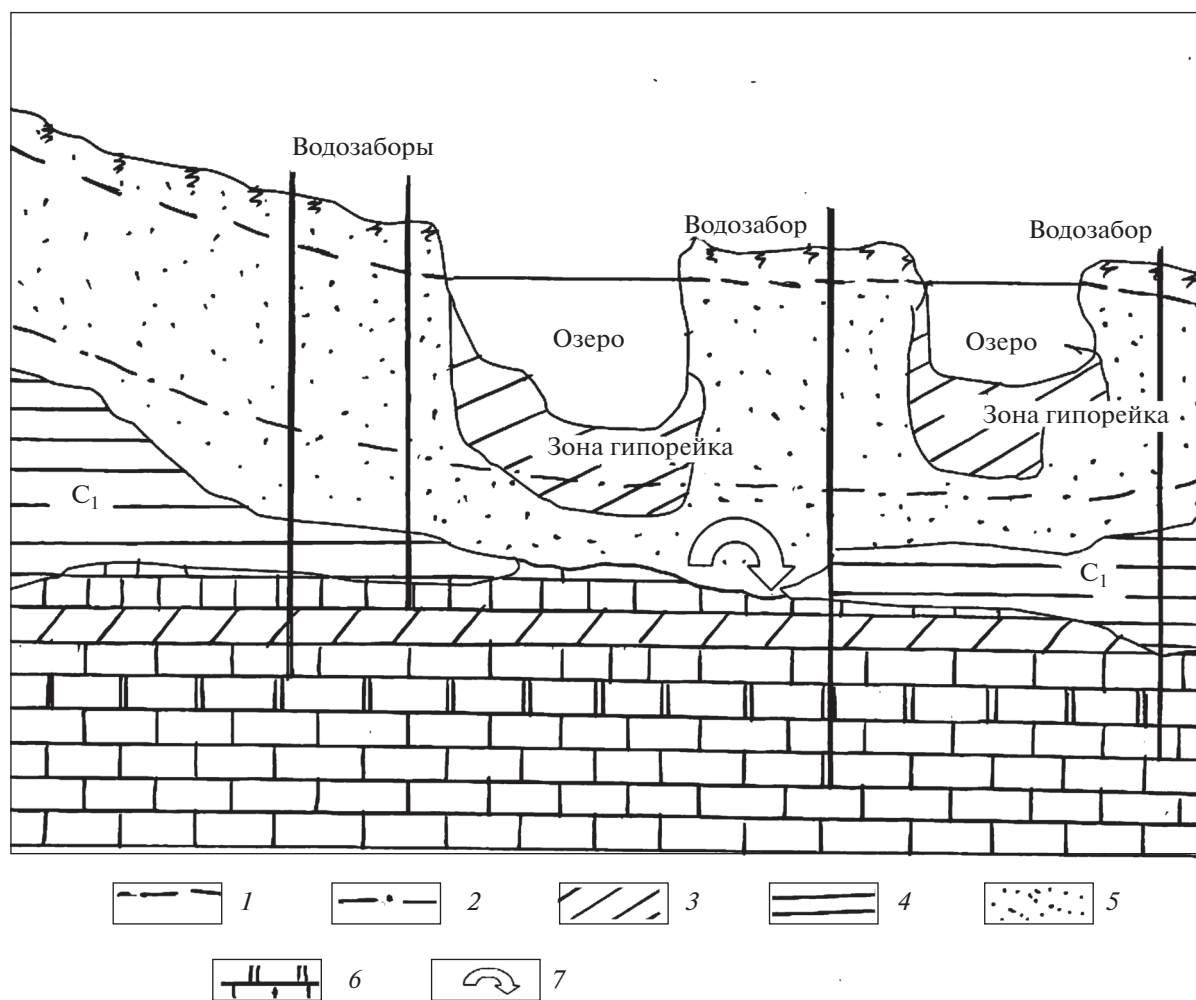


Схема расположения приозерных водозаборов. 1 – уровень грунтовых вод; 2 – пьезометрические уровни; 3 – зона гипорейка; 4 – глинистые отложения; 5 – четвертичные песчано-глинистые отложения; 6 – водовмещающие карбонатные породы; 7 – направление фильтрации озерных вод.

Ужин, Вадлдайское и др.). По результатам многолетних наблюдений авторов, концентрации сульфатов возросли от 5.7 до 27.3 мг/л. Изменение химического состава озерных вод проявилась в образовании вод типа $\text{SO}_4\text{-Na}$ вместо вод $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ [5].

Выполненные авторами расчеты также показали, что с увеличением концентраций SO_4^{2-} в озерных водах возрастает их агрессивность, что способствует усилению выщелачивания в подземной гидросфере.

Другой причиной ухудшения качества подземных вод на водозаборах приозерного типа становятся ДО. Их мощность возрастает с габаритами озерной системы и изменяется от 0.5 до 6.7 м.

При изучении инфильтрационных водозаборов уделяется внимание зоне гипорейка, представляющей собой толщу ДО под водоемом или водотоком [6, 7]. Именно за счет этой зоны про-

исходит динамичная трансформация поверхностных вод при их инфильтрации в подземную гидросферу (табл. 1, 2).

Для береговых водозаборов, приуроченных к озерной котловине, такая зона гипорейка – озерные ДО. Их свойства формируются под воздействием природных и техногенных факторов (климатические, ландшафтные геолого-структурные, гидрологические и др.). Сочетание различных факторов обуславливает свойства зоны гипорейка (мощность, интенсивность водообмена, степень и др.)

Изучение степени загрязнения ДО ряда озерных котловин показало, что воздействие локальных и рассредоточенных источников загрязнения окружающей среды привело к аккумуляции в ДО широкого спектра различных токсикантов. Послойное определение концентраций отдельных загрязнителей с помощью аналитического оборуду-

Таблица 3. Показатели состава подземных вод на водозаборах приозерного типа

Расстояние от озера, м	Концентрации гелия, мл/л	Ca ²⁺ , мг/дм ³	Cl ⁻ , мг/дм ³	Минерализация, моль/кг	Тип вод
1800	32.8 × 10 ⁻⁵	41.7	32.1	0.008	HCO ₃ -Ca
100	1.6 × 10 ⁻⁵	75.8	88.7	0.018	HCO ₃ -Na

дования (ОРТЕК-ТЭФА-611) установило их присутствие в зоне гипорейка. Их геохимическая последовательность в составе ДО следующая:



Применение математического моделирования при изучении распределения установленных токсикантов в системе атмосфера–водоток–ДО позволило установить величины коэффициента диффузионной дисперсии для придонной части гипорейка. Рассчитанные значения коэффициента составили 3 × 10⁻⁶ см²/с.

Другой источник воздействия на качество озерных вод – грунтовые воды четвертичных отложений на водозаборах различной площади. Формирование гидрогеохимического режима грунтовых вод в рыхлых песчано-глинистых моренных отложениях исследовалось с помощью математического моделирования [3]. По результатам выполненных оценок установлен значительный вклад грунтового стока в формирование гидрогеохимического режима озерных вод [3]. По многолетним режимным наблюдениям установлена динамичная трансформация гидрохимического режима грунтового стока на водозаборах Валдайской возвышенности [3]. В области питания грунтовых вод сформировались воды SO₄-Na вместо типа HCO₃-Ca. На рассматриваемой территории для многих родниковых систем характерны воды типа SO₄-Na.

Немаловажное влияние на гидрогеохимический режим озерных вод оказывают болотные воды, в которых отмечаются значительные концентрации органических соединений [3]. Эта разновидность природных вод характеризуется низкими значениями pH (3–4.7) и высокими концентрациями сульфатов.

Таблица 4. Диапазоны изменения концентраций Zn, Cu, Pb и Cd в подземных водах водозаборов Валдайского региона в 2008 г.

Компонент	Диапазоны изменения концентраций, мг/дм ³	ПДК, мг/дм ³
Zn	0.001–0.273	5
Cu	0.001–0.169	1
Pb	0.001–0.018	0.03
Cd	0.001	0.001

Таким образом, свойства озерных систем обусловлены природными и антропогенными процессами на водозаборах.

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ

На Валдайской возвышенности изучаемые водозаборы расположены на различных расстояниях от озерных систем. Наибольшее их количество приурочено к крупным населенным пунктам и промышленным предприятиям [3]. Из рисунка видно, что при водоотборе снижение пьезометрических уровней вызывает неизбежный подток озерных вод.

В табл. 3 приведены некоторые результаты изучения состава подземных вод на приозерных водозаборах.

Для оценки степени гидравлической взаимосвязи подземных вод с озерными водами проводилась гелиметрическая съемка. Некоторые результаты приведены в табл. 3; из данных этой таблицы следует, что с увеличением расстояния водозабора от озера концентрации гелия в подземных водах возрастают почти в 20 раз. При этом малые значения полученных концентраций указывают на значительную долю озерных вод в подземных водах на водозаборе. Свойства подземных вод меняются по мере уменьшения расстояния от озерной котловины и по другим показателям. Высокие концентрации Ca²⁺ на водозаборе, расположенном около озера, указывают на более интенсивное выщелачивание. Проявление процессов выщелачивания в водоносном горизонте подтверждается повышенными значениями общей жесткости воды (до 5.1 мг-экв/л), а также повышенными концентрациями Mg²⁺ и HCO₃⁻.

Вблизи озерной системы для подземных вод водозабора характерны более высокие минерализация и концентрации Cl⁻, Ca²⁺ и Na⁺ (табл. 3). Техногенное загрязнение озер проявляется также в формировании вод типа HCO₃-Na.

Таким образом, при оборудовании новых водозаборных скважин важно учитывать их расположение относительно озерной системы.

Для водозаборов рассматриваемого типа, по результатам многолетних наблюдений ИВП РАН, отмечается увеличение концентраций нитратов в подземных водах – от 0.53 до 2.9 мг/дм³. Увеличение окисляемости подземных вод также обуслов-

лено влиянием озерных вод. Величина этого параметра для питьевых вод не должна превышать 5 мг $O_2/дм^3$. В некоторых водозаборах окисляемость достигает ≥ 9.8 мг $O_2/дм^3$. Полученные данные указывают на влияние органических загрязнений на подземные воды приозерных водозаборов.

Обобщение многолетних данных установило присутствие в подземных водах отдельных токсикантов (Zn, Cu, Pb и Cd). В табл. 4 приведены диапазоны изменения концентраций этих элементов. Из табл. 4 по соотношению концентраций токсикантов в зоне гипорейка и в подземных водах видно доминирующее значение в водоносном горизонте водозаборов Zn, Cu и Pb. При этом, чем ближе водозабор к озерной системе, тем выше концентрации токсиканта. Эти сопоставления выявляют значительную роль озерных систем в формировании качества питьевых подземных вод.

Рассматриваемые водозаборы эксплуатируются с 1967 г. Графики временного прослеживания, характеризующие распределение концентраций основных солеобразующих ионов, выявляют неуклонное увеличение их концентраций. В подземных водах концентрации SO_4^{2-} за анализируемый период возросли почти 4 раза.

Применение термодинамического моделирования установило изменение направленности межфазовых взаимодействий (порода–вода– CO_2). Выполненные расчеты показали, что с изменением щелочно-кислотных условий наблюдается уменьшение коэффициентов насыщения для основных пороодообразующих минералов. Для естественных условий значения составляли: для кальцита $S_{CaCO_3} = 0.428$, для доломита $S_{Ca(MgCO_3)_2} = 1.82$. При изменении щелочно-кислотных условий эти величины уменьшились: для S_{CaCO_3} до 0.036 и для $S_{Ca(MgCO_3)_2}$ до 1.15.

В естественных условиях значения рН для подземных вод составляли 7.5–7.9. С внедрением озерных вод значения рН уменьшились до 6.9–7.15, что привело к нарушению геохимического равновесия в системе вода–порода– CO_2 .

ВЫВОДЫ

Выполненные исследования отражают лишь некоторые аспекты изменения качества подзем-

ных питьевых вод на водозаборах приозерного типа.

Многофакторность процесса формирования качества подземных вод требует применения комплекса различных методов (аналитических, математических и др.) с приоритетом экспрессных методов (тестовые, гелиметрические и др.).

В дальнейших исследованиях для водозаборов подобного типа важно детальное изучение окислительно-восстановительных условий в зоне гипорейка и их роли в трансформации качества подземных вод. Особый интерес представляет протяженность зоны влияния озерной системы на качество подземных вод. Немаловажны исследования бактериальных процессов и влияния органических загрязнений на подземные воды приозерных водозаборов.

Наряду с выявленными особенностями важно разработать систему мониторинга подземных вод, включающую в себя водно-балансовые оценки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Злобина В.Л., Медовар Ю.А. Влияние водоотбора на гидродинамические и гидрохимические характеристики подземных вод // Недропользование XX век. 2012. № 2(33). С. 76–77.
2. Злобина В.Л., Медовар Ю.А. Проблемы мониторинга месторождений подземных вод // Разведка и охрана недр. 2013. № 7. С. 35–38.
3. Злобина В.Л., Юшманов И.О. Особенности продвижения фронта закисления грунтовых вод на заболоченном водосборе // Вод. ресурсы. 2003. Т. 30. № 5. С. 565–570.
4. Капотов А.А., Капотова Н.И. Влияние антропогенных факторов на химический состав поверхностных вод бассейна Валдайского озера // Тр. ГГИ. 1979. Вып. 258. С. 82–87.
5. Путьрский В.Е., Злобина В.Л. Техногенная трансформация озерных систем Валдайского региона // Вод. хозяйство России. 2010. № 5. С. 70–80.
6. Шестаков В.М., Невечера И.К., Авиллина И.В. Методические оценки ресурсов подземных вод на участках береговых водозаборов. М., 2009. 192 с.
7. Harvey J., Fuller C.C. Effect of enhanced manganese oxidation in the hyporheic zone on basic-scale geochemical mass balance // Water Resour. Res. 1998. № 34. P. 623–636.