

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ УЧАСТИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ПИТАНИИ РЕК И ОЗЁР

Г. С. Шилькрот

Институт географии РАН, Старомонетный пер. 29, 119017 Москва, Российская Федерация; g.s.shilkrot@igras.ru

Химический состав природных вод, в том числе и подземных (грунтовых) – важнейший индикатор экологического состояния ландшафтов, т. е. среды обитания человека. Он же может рассматриваться в качестве индикатора динамики процессов в ландшафтах в современных меняющихся условиях климата и мощного воздействия антропогенного фактора. Подземные воды всегда использовались населением в питьевых целях. И эти воды выполняют также роль экологического фактора для рек и озёр, получающих с ними химические элементы. В настоящее время роль подземных вод возрастает в связи с отмечающимся из-за изменений климата увеличением доли их в питании рек в гумидной зоне.

Ниже обсуждаются геохимические свойства природных вод, сформированные в условиях как слабо освоенных, фоновых, так и сильно освоенных человеком ландшафтов. Представлены результаты многолетних наблюдений за геохимическими свойствами подземных вод (родников и скважин) осадочных четвертичных отложений Валдайской возвышенности и центра Русской равнины. С ними сопоставляются химические показатели речных и озёрных вод и атмосферных осадков.

Наблюдения за составом природных вод проводились в нескольких ключевых районах: в бассейне оз. Селигер [4, 5], на оз. Валдайском; в Московской обл. и её окружении; на территории г. Москвы [6]; в бассейне р. Сейм – ниже г. Курска [3].

Основные результаты были получены по многолетним исследованиям, начатым Институтом географии РАН в бассейне оз. Селигер в 2001 г. Наблюдения в других районах были в основном кратковременны, но результаты их существенно дополняют материалы по бассейну оз. Селигер.

Химический анализ отбирившихся проб воды включал измерение величины pH, минерализации, содержания основных ионов и микроэлементов, включая токсичные и тяжёлые металлы. Определение микроэлементов выполнялось в Центральном научно-исследовательском геолого-разведочном институте (ЦНИГРИ) методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой, ICP-MS, на приборе ELAN 6100 фирмы Perkin Elmer.

Геохимическая характеристика природных вод бассейна оз. Селигер. Водосборный бассейн оз. Селигер занимает водораздельное положение в юго-восточной части Валдайской возвышенности. Его территория испытала воздействие последнего валдайского оледенения. Рельеф здесь холмисто-моренный и в целом характерна мощная, до 50–60 м, толща ледниковых и постледниковых отложений. Из них наиболее распространены суглинки с прослоями супесей и песков, а в понижениях – флювиогляциальные отложения. На всей территории отмечается выраженная в разной степени заболоченность. Все исследованные воды имеют гидрокарбонатно-кальциевый состав, типичный для зоны избыточного и достаточного увлажнения.

В табл. 1 представлены гидрохимические показатели вод оз. Селигер и части его водосбора (Селижаровский плес) за 2002–2013 гг.

Таблица 1 – pH и минерализация вод бассейна оз. Селигер, мг/л (n > 20 по каждому из объектов)

Объект/показатель	pH	Минерализация
Родники	7,0–7,8	250–410
Колодцы	5,6–7,6	115–310
р. Крапивенка*	6,0–8,1	50–285
Озеро**	6,0–7,6	100–110

Примечание. * – репрезентативный приток для всего озера; ** – Осташковский плёс; центр, поверхность.

Из табл. 1 явствует, что воды родников самые минерализованные. Они имеют нейтральную и даже несколько щелочную реакцию в сравнении с водой колодцев в освоенной прибрежной части

озера. Отметим, что повышенная минерализация речной воды отмечается в меженный период при питании р. Крапивенки подземным стоком.

Для родниковых вод бассейна оз. Селигер характерно более высокое содержание в них ряда микроэлементов: Fe, Sr, Ti, Cr и Ba, и при этом малое содержание Zn (табл. 2). В отличие от состава воды колодцев, эти особенности родниковых вод почти неизменны на протяжении года и многих лет. Содержание тяжёлых металлов (ТМ), кроме Fe, в родниках, как и в других природных водах бассейна оз. Селигер, существенно ниже принятых питьевых нормативов (ПДК).

Таблица 2 – Среднее содержание ТМ, наиболее характерных для вод бассейна оз. Селигер, мкг/л (n > 10 по каждому из объектов)

Элемент	Родники	Колодцы	Приток*	Озеро**	ПДК
Fe	498	356	470	196	300
Sr	218	99	94	66	7 000
Ti	102	44	33	18	100
Cr	12,3	5,2	7,3	3,5	50
Ba	32	24	14	20	100
U	0,4	0,1	0,4	0,08	100
Zn	2,6	18	1,8	1,8	1 000

Примечание. * – р. Крапивенка; ** – Осташковский плёс; центр, поверхность

Некоторые авторы [1], указывая на повышенное содержание Ti, Cr и Ba, являющихся литогенными элементами, в донных осадках Шатурских озёр (Московская обл.), связывают это явление с составом флювиогляциальных кварцевых полевошпатных песков. Последние, как известно, распространены в ложбинах стока ледниковых вод.

Из табл. 2 видно, что в озёрной воде, в отличие от речной и тем более вод родников и колодцев, концентрации ТМ заметно ниже. И это вполне согласуется с представлением, что озеро наряду с подземным стоком получает приток химических элементов с поверхностными водами с обширных лесных и заболоченных массивов.

Геохимическая характеристика природных вод центра Европейской части России. Данные о составе подземных вод на большей, по сравнению с бассейном оз. Селигер территории, включающей Московский регион и его окружение, дают представление о характере его пространственной изменчивости. Заметим, что на этой территории подземные воды, как и на Северо-Западе, дренируют ледниковые и постледниковые отложения. Но здесь уже несколько иные ландшафтные условия (меньше площадь лесов, 40 % территории и менее, другой их состав как и характер почв).

По показателям минерализации (110–545 мг/л), гидрокарбонатно-кальциевому составу и почти нейтральной реакции (pH 6,2–7,5) подземные воды на этой территории мало отличаются от родниковых вод бассейна оз. Селигер. Мало различаются воды и по содержанию в них важнейших микроэлементов, включая ТМ.

В табл. 3 представлены данные о содержании ряда микроэлементов в подземных водах центра Европейской России. Для сравнения даны концентрации тех же элементов в снежном покрове (в конце зимы) фоновых ландшафтов и среднее их содержание в реках мира – как кларки [2].

Таблица 3 – Содержание микроэлементов в подземных водах и в снежном покрове, мкг/л (2011–2013 гг.)

Элементы	Снежный покров*(n = 4)	Подземные воды (n = 12)	Кларк
Li	0,05/(0,01–0,09)	6,6/(1,2–18,5)	3,0
Ti	1,6/(0,1–3,7)	65/(39–108)	3,0
Sr	4,0/(0,9–6,5)	302/(119–472)	70
Cr	0,8/(0,5–1,3)	11,8/(5,6–25,2)	1,0
Ba	1,4/(1,1–2,1)	27/(2,7–74)	20
Ni	0,6/(0,1–0,8)	3,2/(1,2–7,6)	0,30
Zn	10,1/(7,5–13)	2,7/(0,3–7,0)	20
As	0,6/(0,2–1,0)	1,4/(0,3–5,3)	2,0

Примечание. * – Снег отбирался в Тверской и Курской обл. В числителе – средние величины, в знаменателе – минимум и максимум.

Из табл. 3 видно, что подземные воды рассматриваемой территории обогащены в сравнении со снегом и речными водами прежде всего литогенными элементами вследствие их выщелачивания из горных пород. И, как и для бассейна оз. Селигер, в этих водах повышено содержание Fe (в табл. 3 не представлено), Sr, Ti, Ba, Cr, Li, Ni. Тогда как Zn содержится мало. Максимальные концентрации последнего отмечаются в снеге, что связано с загрязнением атмосферных осадков [5].

Хорошее соответствие геохимических показателей подземных вод для ландшафтов Верхней Волги и центра Европейской России позволяет считать эти показатели естественными геохимическими свойствами, или индикаторами незагрязнённых подземных вод. Из этого следует, что данные геохимические индикаторы можно использовать для оценки роли этих вод в питании рек и водоёмов. И более того, благодаря этим индикаторам можно оценивать наличие или отсутствие загрязнения как самих подземных вод, так и питаемых ими рек и водоёмов.

Из табл. 4 видно, что геохимические свойства вод оз. Белого и Святого (Косинские озёра), как и оз. Валдайское, близки к таковым для незагрязнённых подземных вод. Воды другого озера – Долгое (г. Лобня, Московская обл.), при несомненном участии в его водном питании подземных вод, явно загрязнены Zn, As и Ni. Загрязнение, судя по повышенному содержанию в речной воде Cr и As, отмечается и для р. Сейм (выше г. Курчатова – ниже г. Льгова), получающей в меженные сезоны подземный приток.

Таблица 4 – Содержание тяжёлых металлов и других микроэлементов в водах озёр и рек, мкг/л

Объект	Li	Ti	Sr	Cr	Ni	Zn	As	U
оз. Валдайское-1	1,0	23	168	1,6	2,0	1,0	0,9	0,2
оз. Белое-2	6,0	48	160	6,8	1,2	1,1	1,0	-
оз. Святое-3	5,0	14	114	3,4	0,8	1,0	0,5	-
оз. Долгое-4	0,5	17	60	5,9	3,6	9,2	7,7	0,02
р. Сейм-5	5,7	61-97	650	18	2,7	0,7	7,7	
Старица-6	10	34-96	700	3,0	5,6	1,6	4,6	0,0-9,9

Примечание. Отбор проб: 1 – у Монастырского о-ва, Городской плёс, июнь 2016 г.; 2 и 3 – весна–осень 2010–2011 гг.; 4 – июль 2015 г.; 5 – февраль, июнь 2013–2015 гг.; 6 – в пойме р. Сейм, г. Льгов, февраль, июнь 2013–2016 гг. Минерализация воды (мг/л): объект 1 – 170, 2 – 220–300, 3 – 90–120, 4 – 120, 5 – 420, 6 – 460–500.

Закключение. Результаты многолетних исследований за составом подземных вод в бассейне оз. Селигер, дополненные наблюдениями в фоновых ландшафтах центра Европейской России, позволили вполне обоснованно указать на химические элементы – Li, Ti, Sr, Ba, Cr, содержащиеся в повышенных концентрациях в этих водах, как на геохимические индикаторы их естественных свойств, или их малой загрязнённости.

Факт аналогичного содержания указанных элементов в речных и озёрных водах даже в освоенных человеком ландшафтах будет свидетельствовать о существенном участии незагрязнённых подземных вод в питании этих рек и озёр.

В определённой степени эти индикаторы позволяют подойти к разграничению вклада природных и антропогенных факторов в формирование химического состава как подземных вод, так и питаемых ими речных и озёрных вод в освоенных человеком ландшафтах.

Геохимические индикаторы естественных свойств подземных вод позволяют выявлять возможное загрязнение как самих подземных вод, так и питаемых ими рек и озёр. И оценивать степень устойчивости последних к антропогенному загрязняющему воздействию. Что особенно важно для озёр с малым удельным водосбором, питающихся в значительной степени подземными водами (оз. Белое, с. Косино).

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН – П 15.

1. Горбатов Е. С. Основные геохимические ассоциации элементов в осадках Шатурских озёр // Актуальные проблемы экологии и природопользования». М.: Росс. ун-т дружбы народов, 2013. Вып. 15. С. 168–172.

2. Добровольский В. В. Основы биогеохимии. Учебник для высших учебных заведений. М.: Изд. Центр. Академия, 2003. 400 с.

3. Замотаев И. В., Кайданова О. В., Кудерина Т. М. и др. Геохимические особенности аквальных ландшафтов бассейна р. Сейм (Курская область) //Биогеохимия техногенеза и современные проблемы геохимической экологии / Тр. IX Между-народ. биогеохим. шк. 24–28 авг. 2015 г., Барнаул. Барнаул, 2015. С. 276–279.

4. Суслова С. Б., Шилькрот Г. С., Кудерина Т. М. Многолетняя динамика химического состава поверхностных и грунтовых вод бассейна озера Селигер // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов: Тр. 4-ой Всеросс. науч. конф. с международ. участием. Москва, 15–18 сент. 2015 г. М., 2015, С. 451–453.

5. Шилькрот Г. С. О миграции фосфора и других химических элементов с грунтовым стоком в сельских ландшафтах // Научное обеспечение реализации «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 г.». Петрозаводск: Карельский н. центр РАН, 2015. С. 386–394.

6. Шилькрот Г. С., Труфанов Н. В. Экология малых озёр в Косино (Москва) в условиях урбанизированной среды // Проблемы региональной экологии. 2014. № 1. С. 104–110.

УДК 550.4

РАДОНОПРОНИЦАЕМОСТЬ ПОЧВЕННЫХ ПОКРОВОВ ЮЖНОГО ПОЛЕСЬЯ

А. В. Шабатура¹, Ю. Г. Тютюнник²

¹ Институт геологии Киевского национального университета,
ул. Васильковская 90, 03022 Киев, Украина; dard@ukr.net

² Институт эволюционной экологии НАН Украины, ул. акад. Лебедева 37,
03143 Киев, Украина; carmel@mail.ru

При рассмотрении вопроса формирования уровней R_n в воздухе жилых помещений необходимо учитывать все возможные источники его поступления. Наиболее значимый фактор, обуславливающий проникновение R_n в подвальное или непосредственно в жилое пространство, – приток почвенного газа. Только в редких случаях повышенное содержание R_n в воздухе жилых помещений может быть связано с его эксхалацией из строительных материалов, систем водо- или газоснабжения. Как правило, геогенный R_n , то есть R_n , поступающий с земли, имеет преимущественно почвенное происхождение. Глубинные потоки R_n , создающие высокие концентрации в почвах имеют место в связи со специфической геологической ситуацией. С этих позиций понятен тезис, что в большинстве случаев высокие концентрации R_n в воздухе помещения зависят не от абсолютного его содержания в почвенном газе, а от транспортных и ёмкостных свойств почв.

В качестве объектов исследований, связанных с оценкой радонопроницаемости, выбраны ведущие типы почв Южного Полесья (геоэкологический полигон «Бучанский» Ирпень-Буча-Ворзельской рекреационной зоны г. Киева; табл.).

В комплексе изучения почвенных покровов проводились измерения объёмной активности R_n (ОАР) и еще ряд геофизических исследований (табл.). Концентрация R_n в верхних почвенных горизонтах сильно зависит от действия внешних факторов (погодные и временные колебания температуры, барометрического давления, нарушенная структура верхних слоев). Для исключения этих неопределённостей измерения проводились на глубинах 70–90 см.

Радонопроницаемость почв – комплексная характеристика, позволяющая оценить способность к перемещению R_n в газовой форме. Очевидно, что пористые и проницаемые почвы имеют наибольшие её показатели.

Распределение R_n между почвенными фазами определяется структурой, текстурой, пористостью, связностью, проницаемостью, влагоёмкостью почв. Перемещение R_n , реализующееся главным образом через молекулярную диффузию и конвекцию, сильно зависит от пористости, гранулометрического состава и, в меньшей мере, от радиогенных источников R_n и влажности.

Кроме почв суперавквальных ландшафтов, развиты преимущественно песчанистые разновидности с средней и высокой пористостью и проницаемостью. Характерна сильная изменчивость величины коэффициента эманирования (K). Для целинных или богатых органикой почв K R_n составляет 0,46, для суглинисто-глинистых почв – 0,22 (мод – 0,2).

Прослеживается коррелируемость между содержанием обменных катионов, сорбционной ёмкостью почв и ОАР. Железо- и марганцевые оксиды и гидрооксиды играют важную роль в адсорбционных процессах R_a . Часто наблюдается ситуация, когда процессы растворения и адсорбции радийсодержащих веществ приводят к вторичной его аккумуляции на поверхности частичек почв и формированию «эманирующих коллекторов». Низкие и умеренные концентрации R_a в почвах приводят к высоким концентрациям R_n , если R_a адсорбирован на поверхности зёрен. А уменьшение K в почвенные