

УДК [556.332.62: 556.168]: 556.55

РОЛЬ ПОДЗЕМНОГО СТОКА В ФОРМИРОВАНИИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ ОЗЕР БАССЕЙНА ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА

Г. С. Бородулина

Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН

Приведена характеристика гидрогеологических условий формирования подземного стока на водосборе Онежского озера. Дана количественная оценка водного и химического подземного стока непосредственно, минуя речную сеть, в отдельные озера бассейна р. Шуи (Сямозеро, Крошнозеро, Суоярви, Пряжинское) и Онежское озеро. Установлено, что доля прямого подземного стока в водном балансе озер незначительна, однако его влияние на химический состав озерной воды более значимо и нередко сравнимо с воздействием, оказываемым поверхностными водами. Наиболее важна роль прямого подземного стока в химическом балансе небольших озер.

Ключевые слова: подземные воды, водосбор Онежского озера, химический состав, подземный сток, химический баланс.

G. S. Borodulina. ROLE OF GROUNDWATER FLOW TO LAKES OF THE ONEGA WATERSHED IN FORMATION OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF LAKE WATER

The hydrogeological conditions for formation of groundwater flow in the Onega catchment are characterized. Water and salt groundwater flow directly to Onega and some lakes of the Shuja River basin (Syamozero, Kroshnozero, Suojarvi, Pryazhinsky) avoiding the river network was quantified. We found that the share of direct groundwater flow in the lake water balance is insignificant, however its influence on the chemical composition of the lake water is more significant and comparable with that of the river discharge. The role of direct groundwater flow in the chemical balance is most important in small lakes.

Key words: groundwater, Onega watershed, chemical composition, groundwater flow, chemical balance.

Введение

Количественная оценка химического подземного стока и выяснение закономерностей его формирования имеет важное значение при исследовании многих проблем современной гидрохимии и необходима, прежде всего, для обоснования мероприятий по управлению водными ресурсами, направленных на поддержание оптимального водного, солевого и гидробиологического режима.

Несмотря на то что подземный сток остается трудноопределяемым и слабоизученным

компонентом водного и солевого баланса озер, необходимо ответить на ряд вопросов: каков объем разгружающейся воды, оказывает ли он влияние на водный и солевой баланс озера, каким образом изменится приток подземных вод в озера в условиях возможного изменения климата и увеличения техногенной нагрузки в береговой зоне.

Опыт исследований на ряде морей и крупных озер (Ладога, Байкал, Балхаш, Иссык-Куль, Великие озера, Каспийское море и др.) показывает, что, несмотря на относительно небольшое количество подземных вод, поступающих в

водоемы непосредственно, минуя речную сеть, их влияние на солевой состав и качество воды весьма значительно и сравнимо с воздействием, оказываемым поверхностными водами [Зекцер, Джамалов, 1989; Шабалина, Воронов, 2004]. Для водоемов Карелии количественная оценка формирования прямого подземного водного и солевого стока до последнего времени практически не проводилась.

Методы оценки подземного стока

Вопросы, посвященные оценке естественных ресурсов подземных вод на территории Карело-Кольского региона, рассматривались в работах многих исследователей: И. С. Зекцер и Л. Б. Ковальский [1963], Н. П. Небожева [1965], А. Н. Малявкин [1966], Е. И. Лось [1977], И. К. Поленов и Г. Н. Устинов [1980], А. В. Иешина и др. [1987], В. А. Всеволожский и Р. Н. Кочеткова [2003]. В этих работах оценка величины подземного стока проводилась методом расчета подземного притока в реки. Метод основан на анализе гидрограмм речного стока за многолетний период с выделением подземной составляющей. Региональная оценка подземного стока была выполнена И. К. Поленовым с учетом степени озерного регулирования рек, в отличие от большинства авторов, которые это условие не учитывали. Были рассчитаны значения среднегодового и минимального подземного стока для ряда наиболее изученных водосборов, в том числе для 18 водосборов бассейна Онежского озера. Наиболее обеспечена естественными ресурсами западная часть бассейна за счет более широкого развития песчаных массивов и расчлененности рельефа (модули стока 2–4 л/с · км²). Минимальные значения модуля подземного стока (до 1 л/с · км²) характерны для юго-восточной равнинной и заболоченной части. Коэффициент зимнего подземного питания рек, отражающий долю подземного стока в общем речном, в пределах бассейна Онежского озера изменяется от 22 до 95 %.

В расчете водного и химического баланса озер Карелии приход подземных вод количественно учтен в объеме среднесезонного речного стока, а прямой приток в водоемы подземных вод с прибрежной территории, не подверженной дренирующему воздействию рек и ручьев, прежде не принимался во внимание. Но именно в этой части водосборной площади озер располагаются основные очаги концентрированного загрязнения не только поверхностных, но и подземных вод: крупные промузлы, поселки, карьеры и многие другие хозяйственные объекты.

Подземный сток непосредственно в озера включает сток с междуречных пространств, родниковый сток береговой полосы и субаквальный приток в акватории озера. Существующие представления о формировании подземного стока, связанного с зонами тектонических нарушений и дренируемого основными областями разгрузки (Белое море, Ладожское и Онежское озера), крайне противоречивы. Одни исследователи [Зекцер, Ковальский, 1963; Пряхин, 1972] придерживаются взглядов о наличии значительных объемов глубокого регионального подземного стока в котловины моря и озер, другие [Всеволожский, Кочеткова, 2003] считают их чисто гипотетическими. Первым опытом изучения субаквальной разгрузки в озера Карелии являются результаты водно-гелиевой съемки придонного слоя воды в Петрозаводской губе Онежского озера [Поленов, Иешина, 1981]. Здесь в зоне разгрузки гдовского напорного водоносного горизонта гелиевая аномалия зафиксирована в полосе длиной 2 км и шириной 0,5 км, вытянутой параллельно берегу на расстоянии 1 км от него.

В основе изучения и количественной оценки подземного стока в озера (минуя речную сеть) лежат методы, основанные на количественном анализе условий формирования подземного стока в пределах водосборной и, прежде всего, в прибрежной его части. Для оценки подземного стока использовался гидродинамический метод расчета расхода подземного потока по известным аналитическим зависимостям, который широко применяется в практике гидрогеологических исследований [Джамалов и др., 1977; Зекцер, 2001].

Анализ геолого-гидрогеологического материала включает данные по 400 скважинам, пробуренным по всей прибрежной территории озер, а также результаты гидрогеологических работ по оценке эксплуатационных запасов подземных вод, выполненных ИВПС КарНЦ и другими организациями на отдельных участках бассейна Онежского озера (Пряжа, Эссойла, Деревянное, Поросозеро, Суоярви, Петрозаводск, Повенец, Челмужи, Мелиоративный). Гидрогеологические параметры, необходимые для расчета расхода подземного потока, рассчитывались по данным опытных откачек. Для прибрежной территории Онежского озера построены гидродинамические карты (водопроницаемости, гидроизогипс). При расчете потока параметры не осреднялись в пределах значительных площадей, а снимались с соответствующих карт. В пределах основных водоносных комплексов побережья озер выделен ряд расчетных участков со сходными

гидрогеологическими условиями. В пределах участков расходы потоков подземных вод, направленных непосредственно в озеро, минуя речную сеть, рассчитаны по основной зависимости Дарси.

Оценка выноса в озера растворенных веществ производилась на основе полученных значений расходов подземных вод и сведений об их химическом составе. Анализ гидрогеохимических данных на исследованной территории, использованных для построения карты минерализации подземных вод, включал результаты опробования 1500 водопунктов (родники, скважины, колодцы). По ряду источников имеются многолетние наблюдения. Большинство анализов проб воды выполнены в аккредитованной химической лаборатории гидрохимии и гидрогеологии Института водных проблем Севера КарНЦ РАН по аттестованным методикам [Ефременко, 2007].

В данной статье обобщены результаты оценки подземного стока в Онежское озеро и некоторые озера бассейна р. Шуи (Сямозеро, Крошнозеро, Суоярви, Пряжинское), различные по гидрологическим характеристикам [Лифшиц, 1970; Бассейны рек..., 1986] и антропогенной нагрузке (табл. 1). Онежское озеро – второе по величине озеро Европы. Основная часть его котловины заполнена чистыми олиготрофными водами. Однако некоторые губы (Кондопожская, Петрозаводская, Большая) загрязнены сточными водами промцентров. Водосборы озер Сямозеро, Крошнозеро, Пряжинское в бассейне р. Шуи наиболее освоены. Озера используются для водоснабжения, рекреации, рыбного промысла и выращивания форели. Воды озер маломинерализованны – сумма ионов составляет 20–40 мг/л и слабо изменяется по акватории и глубине озер. По уровню трофии водоемы, согласно классификации С. П. Китаева (1984), относятся к мезотрофному типу, а оз. Крошнозеро (в отдельных участках) – к эвтрофному.

Таблица 1. Морфометрические характеристики озер

Озеро	Площадь, км ²		Глубина, м		Объем воды, км ³	Ширина фронта потока подземных вод, км (доля загрязненного стока, %)
	водосбора	зеркала	средняя	макс.		
Онежское	57 300	9840	30	127	295	1725 (14)
Сямозеро	1610	266	6,7	24,5	1,79	140 (20)
Суоярви	2087	61	4,7	26,0	0,285	93 (14)
Крошнозеро	187	9	5,7	12,6	0,05	23 (35)
Пряжинское	50	3,7	4,1	7,5	0,015	11 (44)

Условия формирования подземного стока на водосборе Онежского озера

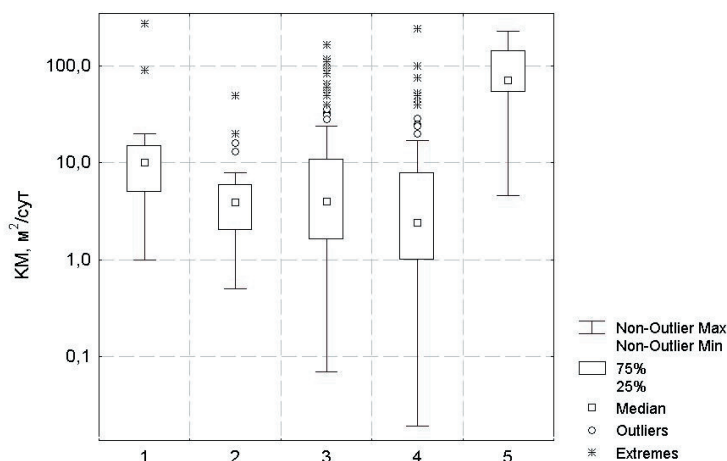
Водосборная территория Онежского озера расположена в восточной части Балтийского щита на границе с Русской плитой. Сложность геологического строения района Онежского озера определяется его расположением в краевой части Балтийского щита и развитием разных по строению и времени образования тектонических структур. В строении щита принимают участие архейские и протерозойские породы кристаллического фундамента и рыхлые четвертичные отложения. В южной части бассейна распространены породы осадочного чехла Русской платформы, сложенного породами верхнего девона и нижнего карбона.

В пределах Балтийского бассейна трещинных вод основной водоносный горизонт, имеющий повсеместное распространение, залегает в верхней трещиноватой зоне кристаллических пород. Практически на всей территории развиты поровые грунтовые воды рыхлых отложений четвертичного покрова. Наиболее интенсивная трещиноватость кристаллических пород отмечается до глубин 30–40 м, глубже породы становятся слаботрещинноватыми. В зонах тектонических нарушений глубина распространения трещиноватости увеличивается до 100–150 м. Фильтрационные свойства трещиноватых пород изменчивы и, как правило, низкие. Водопроницаемость архейских и нижнепротерозойский пород одного порядка (в среднем 2–5 м²/сут), несколько выше средние значения осадочных пород палеозоя (10 м²/сут), а максимальные величины (в среднем 80 м²/сут) характерны для гдовского водоносного горизонта (рис. 1). Высокие значения водопроницаемости встречаются в пределах всех комплексов и объясняются характером перекрывающих четвертичных отложений, которые играют ведущую роль в формировании подземного стока на кристаллическом массиве.

Подземные воды всех типов четвертичных отложений гидравлически тесно связаны между собой и с трещинными водами кристаллических пород. Высокое значение модулей подземного стока характерно для территорий, которые сложены песчаными, главным образом флювиогляциальными (озовыми) и озерноледниковыми отложениями мощностью 10 и более метров. Такие образования встречаются в Заонежье, на побережье Повенецкого залива и в среднем течении р. Шуи в областях развития краевых ледниковых образований. На участках, где кристаллические породы непосредственно перекрыты обводненными флю-

Рис. 1. Распределение величин водопроницаемости пород различных комплексов в пределах водосборной площади Онежского озера:

1 – осадочные породы палеозоя; 2 – нижнепротерозойский комплекс верхнего карелия; 3 – нижнепротерозойский комплекс нижнего и среднего карелия; 4 – комплекс гранито-гнейсов; 5 – верхнепротерозойский комплекс



виогляциальными или озерно-ледниковыми отложениями (не мореной) даже небольшой мощности, водопритоки в скважины из трещиноватых пород заметно увеличиваются. Работы по разведке и оценке эксплуатационных запасов подземных вод в отложениях водно-ледникового комплекса на территории Карелии показали, что водопроницаемость флювиогляциальных отложений на 1–2 порядка выше, чем кристаллических, и достигает 200–1000 м²/сут [Бородулина и др., 2006].

Подземные воды на кристаллическом щите, как правило, безнапорные, и только в местах, где в разрезе четвертичного покрова присутствуют глинистые фракции, воды приобретают напор. Повсеместно напорными являются воды осадочного комплекса Русской платформы. Питание подземных вод осуществляется полностью за счет инфильтрации атмосферных осадков, величина которой составляет обычно 70–100 мм/год [Иешина и др., 1987]. Среднегодовая величина инфильтрации в песчаных отложениях достигает 560 мм/год [Soveri, 1985].

Общие гидрогеологические условия открытого кристаллического массива, характеризующегося отсутствием региональных водоупоров, определяют довольно простую схему движения подземных вод для всех комплексов водовмещающих пород. Водосборы поверхностных и подземных вод совпадают, движение подземных вод направлено от водоразделов к ближайшим поверхностным водотокам и водоемам, где происходит их разгрузка. Родниковый сток в прибрежной зоне исследованных озер незначительный, на побережье Онежского озера зафиксировано лишь 15 родников с дебитами 1–10 л/с. Высокодебитные родники в Карелии единичны. Так, в бассейне р. Шуи на южном берегу оз. Крошнозеро известен родник с дебитом около 100 л/с, вскрывающий водоносный межморенный онегозерский горизонт.

Подземным водам Карелии свойственна в целом невысокая минерализация (как правило, менее 1 г/л), более минерализованные воды приурочены к зонам замедленного водообмена или связаны с особенностями тектонического строения. Бассейн Онежского озера характеризуется наиболее контрастным проявлением подземных вод различной минерализации и химического состава (рис. 2). В качестве основного фактора, определяющего количество растворенных солей в подземных водах, выступает водообмен, при уменьшении интенсивности которого возрастает время взаимодействия в системе порода – вода. В соответствии с соподчиненностью основных факторов выявляется региональная вертикальная и горизонтальная зональность, определяющая увеличение минерализации подземных вод с глубиной и по мере уменьшения степени расчлененности рельефа. Минимальные величины минерализации типичны для вод гранито-гнейсовых полей Западно-Карельской возвышенности, где в силу особенностей рельефа, характеризующегося грядовым типом и слабым развитием моренных равнин, создаются наиболее промывные условия. Самые минерализованные воды приурочены к породам Онежской структуры и юго-восточной части бассейна озера. Здесь скважинами вскрываются хлоридно-натриевые воды с минерализацией более 1 г/л, максимальные значения (до 10 г/л) отмечены в осадочных породах палеозоя. На Заонежском полуострове существует родник «Соляная яма» – единственный известный в Карелии естественный очаг разгрузки соленых (до 4 г/л) хлоридно-натриевых подземных вод. Разгрузка напорных минерализованных вод, по-видимому, связана с одной из надразломных зон складчато-разрывных дислокаций. Влияние подземных вод на гидрохимический режим рек этого района проявляется в изменении в меженный период

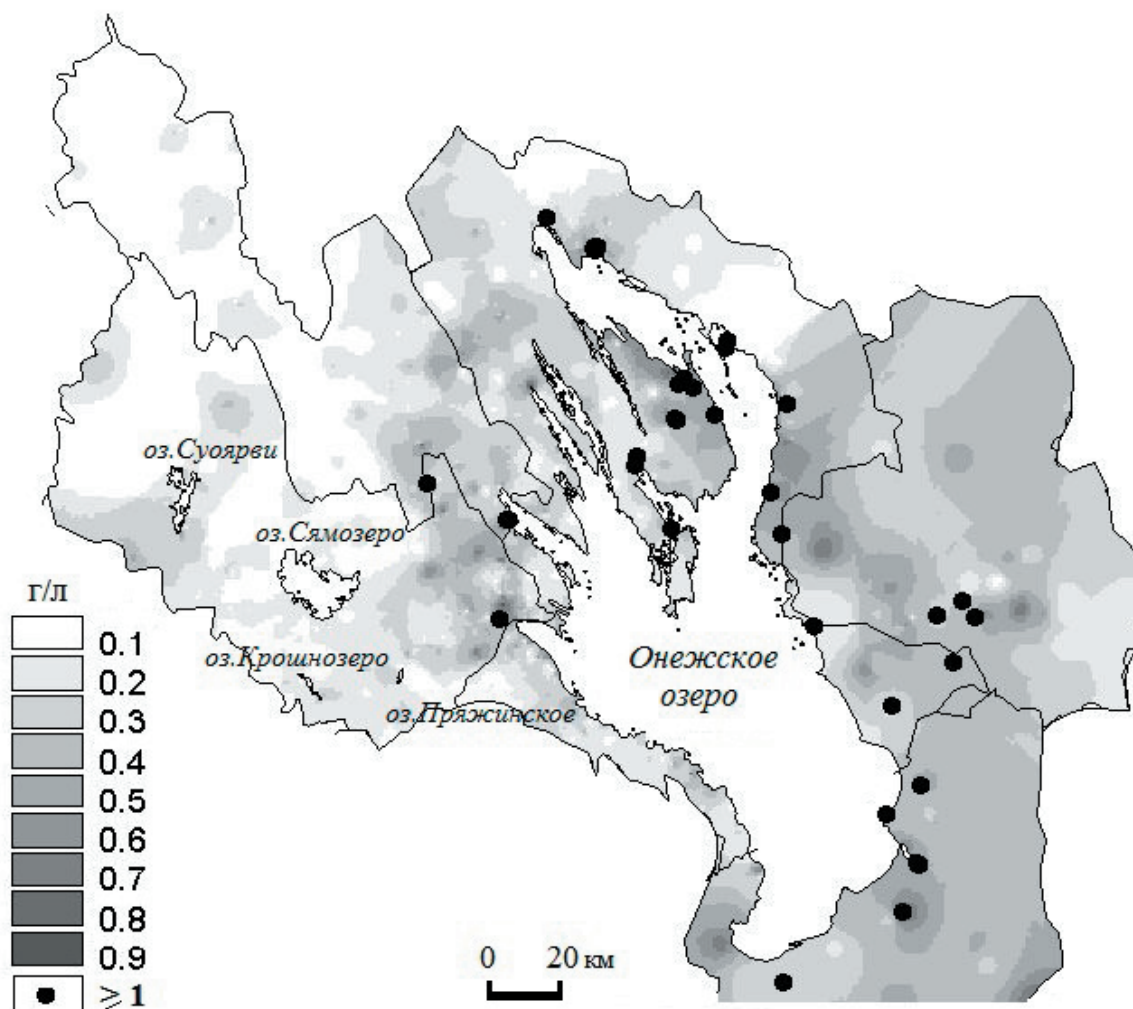


Рис. 2. Распределение величины общей минерализации на водосборной территории Онежского озера

типа воды с гидрокарбонатно-кальциевого на хлоридно-натриевый, как это наблюдалось в р. Антоновщина [Лозовик и др., 2005]. Свидетельством в пользу существования напорных соленых вод может служить новая информация о разрезе карельских образований Онежской структуры, включающих мощную толщу каменных солей ятулия [Куликова, 2010].

В Карелии преобладающим типом подземных вод является гидрокарбонатно-кальциевый, но встречаются гидрокарбонатно-натриевые (содовые), гидрокарбонатно-магниевые, сульфатные и хлоридные воды. Попытки связать состав подземных вод с составом вмещающих пород не привели к ожидаемым результатам [Гидрогеология СССР, 1977]. Одинаковые по минерализации и составу подземные воды формируются в различных по составу породах и наоборот. Исключением являются сульфатные воды, связанные с интенсивной сульфидизацией пород, и хлоридно-натриевые воды повышенной минерализации, приуроченные к осадочным породам.

Основным фактором, определяющим количество растворенных солей в подземных водах, выступает водообмен. Гидрокарбонатно-кальциевые воды формируются независимо от состава пород в зоне активного водообмена. В условиях слабого водообмена в породах различного состава (базальтах, доломитах, кварцито-песчаниках и др.) нередко образуется щелочная вода с низкими концентрациями кальция и магния при подавляющем преобладании гидрокарбонатов и натрия. В соответствии с представлениями С. Л. Шварцева [1998], формирование содовых вод (тех, которые насыщены кальцитом, а не любых, в которых $[HCO_3^-] > [Ca + Mg]$) – естественное следствие взаимодействия вод с алюмосиликатными породами, и связано оно с определенной стадией эволюции подземных вод. Таким образом, в рассматриваемые озера разгружается подземная вода не только разной минерализации, но и различного состава. Следует подчеркнуть, что подземные воды на территории населенных пунктов подвержены загрязнению, преимущественно хозяйственно-

бытовому, которое выражается, прежде всего, в увеличении концентраций нитратов [Лозовик, Бородулина, 2009]. Если основными биогенными элементами, поступающими с речным стоком в озеро, являются кремний, железо и азот органический, то с подземным – нитраты.

Подземный водный и химический сток в озера

При расчете подземного стока принято допущение, что приток подземных вод в озера Сямозеро, Крошнозеро и Пряжинское формируется в основном в ледниковых и водно-ледниковых отложениях четвертичного возраста, а приток в оз. Суоярви – из верхней трещиноватой зоны пород архея. На побережье Онежского озера главные водоносные комплексы, формирующие подземную составляющую водного баланса озера, – комплекс четвертичных отложений, кристаллических пород Балтийского щита и комплекс осадочного чехла Русской платформы. В пределах главных комплексов, в первом приближении совпадающих с основными геологическими структурами побережья, с учетом характера четвертичного покрова и степени расчлененности рельефа выделены 11 расчетных участков береговой зоны со сходными гидрогеологическими условиями. В пределах участков рассчитаны расходы потоков подземных вод, направленных непосредственно в озеро, минуя речную сеть (рис. 3).

Общий подземный сток в Онежское озеро оценен в 0,14 км³/год. Основной объем подземного стока формируется в пределах участков 2–6, сложенных нижнепротерозойскими породами, обрамляющими заливы в северной и северо-западной частях Онежского озера. Наименьший объем поступает из пород архейского возраста с восточного побережья озера. Основной объем подземных вод в озера Сямозеро, Крошнозеро и Пряжинское поступает из песчаных водно-ледниковых отложений. Данные по речному притоку в озера взяты из работ [Поверхностные воды..., 1991; Потапова, Лозовик, 2007; Потапова и др., 2007].

Результаты расчета водного и ионного притока подземных вод в озера свидетельствуют о том, что подземный сток непосредственно в озера (минуя речную сеть) по сравнению с речным в целом невелик, хотя и выражается различной величиной – от менее 1 % (Онежское озеро и оз. Суоярви) до 23 % (оз. Пряжинское) (табл. 2). В то же время доля подземного ионного стока в озера по отношению к речному более существенна и составляет 8 % (Онежское озеро и оз. Суоярви) и 30–40 % (Крошнозеро, Сямозеро).

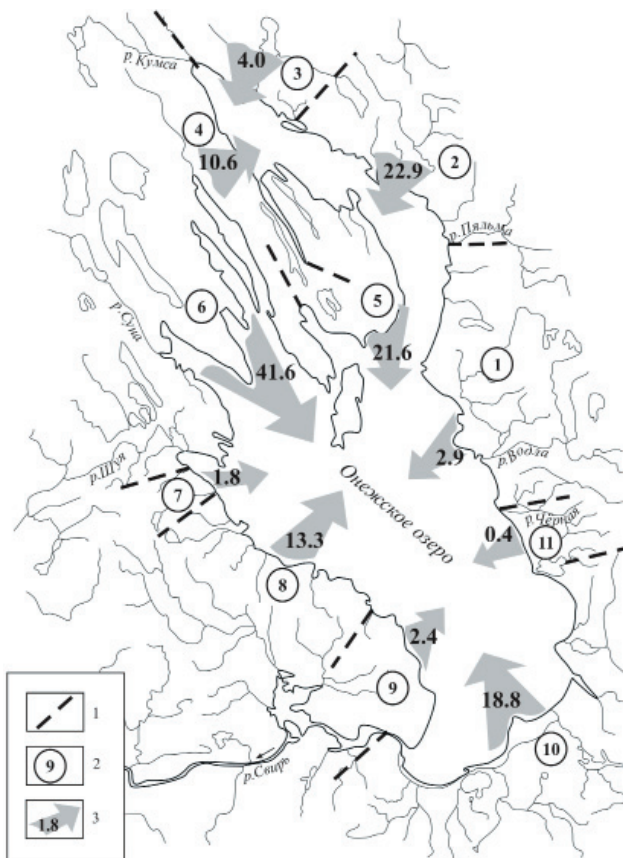


Рис. 3. Объемы подземного стока с расчетных участков побережья Онежского озера:

1 – границы расчетных участков; 2 – номера участков; 3 – объемы стока (млн м³/год)

зоро). Подземный ионный сток в Пряжинское озеро превышает поверхностный. Такая большая величина объяснима высокой антропогенной нагрузкой в прибрежной части озера, где населенная территория составляет почти половину зоны непосредственного подземного стока в озеро (табл. 1). Причем ионный сток включает только сумму консервативных элементов без учета биогенных.

Таблица 2. Водный и ионный сток в озера

Озеро	Водный сток, млн м ³ /год		Ионный сток, тыс. т	
	Речной	Подземный	Речной	Подземный
Онежское	16 800	140,3	635,0	45,3
Суоярви	702	2,7	7,5	0,6
Сямозеро	372	41,3	8,2	3,4
Крошнозеро	61,4	7,4	2,5	0,8
Пряжинское	13,3	3,1	0,17	0,24

Полученные результаты расчета водного и химического подземного стока и современные данные о химическом составе атмосферных осадков [Потапова, Лозовик, 2007] позволили уточнить химический баланс ионного стока и основных биогенных элементов для Онежского озера и Крошнозеро. В работах [Сабы-

Таблица 3. Химический баланс Онежского озера

Элементы баланса	Водный сток, км ³	Ионный сток, тыс. т	N-NO ₃ , т	P _{общ} , т	Si, т
Речной приток	16,8	635,0	706	504	28 360
Атмосферные осадки	5,5	11,0	2052	61	1000
Сточные воды	0,1	20,0	–	174	–
Подземный приток	0,14	45,3	68,5	8	701
Всего приход	20,76	711,3	2825,5	747	30 062
Сток из озера	18,6	718,0	4092	230	5005
Невязка, %		1	32	69	83

Таблица 4. Химический баланс оз. Крошнозеро

Элементы баланса	Водный сток, млн м ³	Ионный сток, т	N-NO ₃ , т	P _{общ} , т	Si, т
Речной приток	61,36	2487	16,4	6,9	219
Атмосферные осадки	6,68	13	0,7	0,1	1,2
Сточные воды	0,01	4	–	0,1	–
Подземные	7,4	776	22	2	47
Всего приход	75,45	3280	39,1	9,1	247,2
Сток из озера	70,56	3127	14,1	3	51,1
Невязка, %		5	64	67	79

лина, 1991, 2007] подземная составляющая в химическом балансе озер не учитывалась, чем и объяснялась невязка по ионному притоку и стоку. Количественный расчет подземного стока практически полностью сбалансировал поступление и вынос консервативных элементов (табл. 3, 4). Невязка баланса фосфора и кремния (превышение притока над стоком) сохраняется и с учетом подземной составляющей. Она обусловлена внутриводоемными процессами трансформации фосфора и кремния (седиментацией, потреблением планктоном, захоронением в донных отложениях). Невязка баланса нитратов в оз. Крошнозеро объяснима их активным потреблением в этом эвтрофном озере. В Онежском озере, наоборот, приход нитратов меньше, чем их сток. Это связано с особенностями круговорота азота в больших стратифицированных водоемах [см. ст. П. А. Лозовика и др. в наст. номере].

На долю подземного стока в приходной части ионного баланса Онежского озера приходится 6 %, в балансе биогенных элементов – 1–3 %. Роль подземного химического стока в оз. Крошнозеро значительно выше. Здесь на долю подземной составляющей в балансе главных ионов приходится 24 %, с подземными водами поступает 56 % нитратов, 22 % фосфора, 19 % кремния от общего поступления.

Таким образом, несмотря на относительно небольшое количество подземных вод, поступающих непосредственно в озера, их влияние на ионный состав более значимо и нередко сравнимо с воздействием, оказываемым поверхностными водами. Наиболее важна роль прямого подземного стока в химическом ба-

лансе небольших озер с высокой антропогенной нагрузкой в прибрежной зоне, загрязненный подземный сток с которой значительно увеличивает поступление всех компонентов и особенно нитратную нагрузку на водоем.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 08-05-98801-р_север_a). Автор выражает благодарность сотрудникам лаборатории гидрохимии и гидрогеологии ИВПС КарНЦ и В. В. Тренину за оказанную помощь в подготовке статьи.

Литература

- Бассейны рек Балтийского моря, Онежского и Ладожского озер / Государственный водный кадастр. Т. 1. РСФСР. Вып. 5. Л.: Гидрометеоздат, 1986. 688 с.*
- Бородулина Г. С., Богачев М. А., Филатов Н. Н. Результаты гидрогеологических исследований и перспективы использования вод из четвертичных отложений // Водные ресурсы Республики Карелия и пути их использования для питьевого водоснабжения. Опыт карельско-финляндского сотрудничества. Петрозаводск; Куопио: Карельский НЦ РАН, 2006. С. 144–161.*
- Всеволожский В. А., Кочеткова Р. Н. Подземный сток Карелии // Водные ресурсы. 2003. Т. 30, № 4. С. 389–399.*
- Гидрогеология СССР. Сводный том, вып. 3. М., 1977. 216 с.*
- Джамалов Р. Г., Зекцер И. С., Мехетели А. В. Подземный сток в моря и мировой океан. М.: Наука, 1977. 94 с.*
- Ефременко Н. А. Методы отбора и химического анализа проб воды // Состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1998–2006 гг. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2007. С. 10–12.*
- Зекцер И. С. Подземные воды как компонент окржающей среды. М.: Научный мир, 2001. 328 с.*

Зекцер И. С., Джамалов Р. Г. Подземные воды в водном балансе крупных регионов. М.: Наука, 1989. 123 с.

Зекцер И. С., Ковальский Л. Б. Гидрогеологические условия формирования подземного стока в реки на территории Карело-Кольского региона // Вестник Московского ун-та. 1963. № 5.

Иешина А. В., Поленов И. К., Богачев М. А. и др. Ресурсы и геохимия подземных вод Карелии. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1987. 151 с.

Китаев С. П. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. М., 1984. 207 с.

Куликова В. В. Палеопротерозойские вулканы центральной Карелии и модели их образования (новый взгляд) // Литосфера. 2010. № 3. С. 118–127.

Лифшиц В. Х. Физико-географическая характеристика бассейна и режим стока реки Шуи (притока Онежского озера) // Водные ресурсы Карелии и пути их использования. Петрозаводск, 1970. С. 235–276.

Лозовик П. А., Басов М. И., Зобков М. Б. Поверхностные воды Заонежского полуострова, химический состав воды // Экологические проблемы освоения месторождения Средняя Падма. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2005. С. 35–47.

Лозовик П. А., Бородулина Г. С. Соединения азота в поверхностных и подземных водах Карелии // Водные ресурсы. 2009. Т. 36, № 6. С. 694–704.

Лось Е. И. Некоторые закономерности формирования подземного стока Карелии (на примере озерно-речной системы Шуи) // Водные ресурсы. 1977. № 1. С. 106–118.

Малявкин А. Н. Подземное питание рек Карелии. Петрозаводск, 1966. 112 с.

Небожева Н. П. Оценка подземного стока в реки Кольского полуострова и Карелии // Тр. ГГИ. 1965. Вып. 122. С. 67–81.

Поверхностные воды озерно-речной системы Шуи в условиях антропогенного воздействия. Петрозаводск: Карелия, 1991. 211 с.

Поленов И. К., Иешина А. В. Сток подземных вод в Петрозаводскую губу Онежского озера // Петроза-

водская губа Онежского озера. Петрозаводск, 1981. С. 156–159.

Поленов И. К., Устинов Г. Н. Оценка подземного питания рек Карелии методом расчленения их гидрографов // Сб. работ по гидрологии. Л., 1980. № 15. С. 53–61.

Потапова И. Ю., Лозовик П. А. Характеристика химического состава атмосферных осадков и химических выпадений на территории Карелии // Состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1998–2006 гг. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2007. С. 174–187.

Потапова И. Ю., Белкина Н. А., Бородулина Г. С. и др. Гидрохимические исследования озера Пряжинского // Изучение водных объектов и природно-территориальных комплексов Карелии. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2007. С. 123–134.

Пряхин А. И. Региональные гидрогеологические особенности Карелии // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1972. Т. 47, № 2. С. 124–131.

Сабылина А. В. Химический баланс оз. Крошнозеро и биогенная нагрузка // Поверхностные воды озерно-речной системы Шуи в условиях антропогенного воздействия. Петрозаводск: Карелия, 1991. С. 156–161.

Сабылина А. В. Внешняя нагрузка на Онежское озеро // Состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1998–2006 гг. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2007. С. 19–21.

Шабалина М. А., Воронов А. Н. Роль подземных вод в водном балансе Ладожского озера // VI Всероссийский гидрологический съезд: Тез. докл. СПб., 2004. С. 63–65.

Шварцев С. Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. М.: Недра, 1998. 366 с.

Zektser I. S., Dzhamalov R. G., Everett L. G. Submarine groundwater. Atlanta, USA: CRC Press, 2006. P. 466.

Soveri J. Influence of meltwater on the amount and composition of groundwater in Quaternary deposits in Finland // National Board of Waters. N 63. Helsinki (Finland), 1985. P. 92.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Бородулина Галина Сергеевна

старший научный сотрудник, к. г.-м. н.
Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185030
эл. почта: bor6805@yandex.ru
тел.: (8142) 576541

Borodulina, Galina

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Science
50 A. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: bor6805@yandex.ru
tel.: (8142) 576541