

ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКОГО ПОДЗЕМНОГО СТОКА В ОЗЕРО ПРЯЖИНСКОЕ

Л.Н. Пителина, Г.С. Бородулина, В.В. Тренин

*Карельский Государственный педагогический университет
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН*

Введение

Изучение подземного стока в озера является частью комплексной гидролого-гидрогеологической проблемы изучения подземного водообмена между сушей и водоемом. Данная работа посвящена исследованию подземных вод, поступающих в озера, то есть той части подземных вод, которая формируется на суше и разгружается непосредственно в озера, минуя речную сеть.

Цель работы заключается в выявлении роли подземных вод в формировании химического состава озера Пряжинское. Для достижения поставленной цели оценивался подземный сток в водоем и количество поступающих с ним солей. Важной задачей явилось определение доли загрязненного подземного стока, формирующегося на территории поселка Пряжа.

Геолого-гидрогеологические условия

Водосбор Пряжинского озера сложен четвертичными образованиями, залегающими на гранитах и гранитогнейсах архея. Полная мощность четвертичных отложений установлена только в п. Пряжа, где составляет 42,5 м. Разрез состоит из нескольких моренных и по меньшей мере двух межморенных горизонтов. Поверхностные образования лужской стадии представлены в основном осадками ледникового происхождения - мореной пылеватого-песчаного, супесчаного и суглинистого состава с гравием, галькой и валунами. Флювиогляциальные отложения развиты в северной части и на юго-западном берегу оз. Пряжинское. Небольшие участки восточнее озера заняты озерно-ледниковыми глинисто-песчаными отложениями.

Через п. Пряжа протягиваются краевые ледниковые образования лужского ледника, причем в северной части водосбора они представлены системой маргинальных озв и кампоподобных холмов. Главная озовая гряда возвышается на 163-167 м (в абсолютных отметках) и продолжается на юго-западном берегу озера. Большая восточная часть территории относится к сильнопересеченному холмисто-грядовому ледниковому рельефу с довольно часто встречающимися озерами и заболоченными понижениями. С запада оз. Пряжинское подперто грядой с уплощенным гребнем, с пережимами, через один из которых вытекает ручей. В строении гряды участвуют сортированные пески – от тонких до средней крупности, перекрытые слоем супесчано-суглинистой морены.

Рассматриваемая территория входит в состав Балтийского бассейна трещинных вод, где основной водоносный горизонт, имеющий повсеместное распространение, залегает в верхней трещиноватой зоне кристаллических пород. Кроме того, практически по всей территории имеют развитие поровые грунтовые воды рыхлых отложений четвертичного покрова. Приток подземных вод в озеро формируется в ледниковых и водно-ледниковых отложениях четвертичного возраста. Подземные воды, как правило, безнапорные, лишь на подошве озовой гряды у озера наблюдается небольшой местный напор (+0.2 м). Питание подземных вод осуществляется полностью за счет атмосферных осадков. Родниковый сток характерен для северо-восточной части озера, где наблюдаются пластовая разгрузка подземных вод. Единичные сосредоточенные родники с дебитом 0.1-0.5 л/сек. встречены на юго-восточном и северо-западном побережье.

Материалы и методы

Разгрузка подземных вод в водоемы является наименее изученным элементом водного и солевого баланса, так как приток подземных вод является единственным компонентом водного баланса, не поддающимся прямым измерениям.

В основе изучения и количественной оценки подземного стока в озера лежат методы, основанные на количественном анализе условий формирования подземного стока в пределах

водосборной и прежде всего в прибрежной части суши (Зекцер, 2001). Одним из методов, широко используемым при оценке подземного стока в разнообразных гидрогеологических ситуациях, является гидродинамический метод. Суть его заключается в следующем. На основе анализа геолого-структурных и гидрогеологических условий прибрежной части территории выделяются водоносные горизонты (комплексы), сток с которых направлен непосредственно в озеро, минуя речную сеть. Ширина береговых зон, с которых происходит разгрузка подземных вод в котловину озера Пряжинское, составляет в среднем 1 км, и только в районе развития озовой гряды достигает 3 км. Подземный сток, направленный в реки и ручьи, притекающие в изучаемый водоем, количественно учтен в объеме среднемноголетнего речного стока, а качественно – в показателях химического состава притоков.

Расчет подземного расхода ведется для каждого выделенного комплекса со сходными гидрогеологическими условиями с использованием имеющихся гидрогеологических параметров (водопроницаемость водоносных комплексов и гидравлические градиенты потоков подземных вод). Как известно, расход подземного потока определяется с помощью основной зависимости Дарси:

$$Q_e = Kh_{cp}VI, \quad (1)$$

где K - средний коэффициент фильтрации пласта;

h_{cp} - средняя мощность потока;

V - ширина фронта потока;

I - средний напорный градиент потока между расчетными сечениями.

Необходимые гидрогеологические параметры были получены при анализе опубликованных и архивных данных о геологическом строении и гидрогеологических условиях района, а также в результате разведочно-оценочных работ, проведенных ИВПС в 2001-2003 гг. в районе Пряжинского озера для водоснабжения поселка подземной водой (Богачев и др., 2004). В ходе этих работ были проведены разведочное бурение и опытно-фильтрационные работы, позволившие детально охарактеризовать гидрогеологические условия северо-восточной части побережья озера, сложенного водно-ледниковыми отложениями.

Ширина фронта потока для водоносных комплексов снята с карты масштаба 1:10000.

Под подземным химическим стоком понимается сумма солей, переносимых в растворенном состоянии подземными водами от областей питания к местам дренирования. Химический подземный сток определяется как сумма произведений общей минерализации подземных вод отдельных водоносных комплексов на объем воды, формирующей подземный сток этих горизонтов и комплексов. Поэтому для оценки ионного подземного стока в озера использованы результаты расчета расхода подземного потока и данные химического опробования водоносных комплексов по скважинам, родникам и колодцам. Для оценки доли загрязненного подземного стока в общем объеме выделялся сток с прибрежной территории, занятой поселком.

Химический состав подземных вод охарактеризован по данным полевых исследований, проведенных в октябре 2005 г. на водосборе озера, в период 2001-2004 гг. преимущественно на западном побережье озера, а также по результатам бурения скважин на воду «Промбурводом». В процессе полевых исследований 2005 г. в прибрежной зоне Пряжинского озера выявлены и опробованы 9 источников подземных вод (2 родника, 1 мочажина, 3 колодца, 2 скважины, 1 ручей). В пробе определялись физические свойства воды, кислотноосновные и окислительно-восстановительные показатели, анализировался макро- и микрокомпонентный и газовый состав. Химико-аналитические исследования включали определения следующих показателей: электропроводности, цветности, Eh, pH, O₂, CO₂, Rn, перманганатной окисляемости, Fe, HCO₃, NO₃, NO₂, NH₄, N органического, P общего, Na, K, Ca, Mg, Cl, SO₄, SiO₂. Аналитические работы проводились согласно нормированным методикам в стационарной аккредитованной лаборатории гидрохимии и гидрогеологии ИВПС КарНЦ. Привлечены результаты предыдущих исследований ИВПС по 30 разведочным гидрогеологическим скважинам, 2 родникам, и результаты химического анализа трех фондовых скважин, пробуренных в 60-х годах на территории п. Пряжа.

Результаты и обсуждение

В результате анализа геолого-гидрогеологических условий района озера по периметру озера выделены три основных водоносных комплекса со сходными гидрогеологическими свойствами. В первых двух комплексах разгрузка рассчитана для зон с естественным и антропогенно измененным режимом (табл. 1).

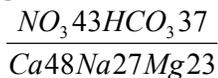
Таблица 1

Подземный сток в Пряжинское озеро

Горизонт (комплекс)	Подземный сток, м ³ /сут
<i>Моренный</i>	
а) естественный	690
б) загрязненный	532
<i>Камовый</i>	
а) естественный	712
б) загрязненный	1080
<i>Озовый</i>	5400
<i>Общий</i>	8410

На распределение величин подземного стока значительное влияние оказывает развитие хорошо проницаемых водно-ледниковых отложений, особенно флювиогляциальных. Как следует из таблицы 1, водоносные комплексы озовых отложений дренируют 64% всего подземного стока. Водообильность флювиогляциальных отложений наиболее высока и достаточна для организации водоснабжения п. Пряжа. На участке развития озовых отложений оценено и подготовлено к опытно-промышленной эксплуатации месторождение подземных вод в количестве заявленной потребности 2000 м³/сут (Богачев и др., 2004). Сток с загрязненной территории составляет 18% от общего подземного стока. В общем многолетнем водном балансе озера Пряжинское подземный сток составляет около 16%.

Химический состав подземных вод каждого комплекса имеет свои особенности (табл.2). Наиболее детально изучен состав вод, формирующихся во флювиогляциальных отложениях. Здесь воды с минерализацией от 0.04 до 0.11 г/л (в среднем 0.9 г/л) имеют гидрокарбонатный кальциево-магниевый состав. Усредненные показатели химического состава воды для камовых образований (не опробованных на изучаемой территории) получены в результате статистической обработки результатов анализов (n=103) подземных вод аналогичных отложений региона. Минерализация вод этого комплекса в естественных условиях также невелика (в среднем 0.08 г/л), химический состав преимущественно гидрокарбонатно-сульфатный (Бородулина и др., 2003). На территории поселка в воде родника из камовых песков отмечается высокое содержание нитратов - 21 мг/л, что при низкой минерализации воды приводит к формированию необычного химического типа:



Более минерализованные (0.18-0.23 г/л) подземные воды формируются в морене. Родником и скважиной вскрыты воды с низким содержанием кислорода и с повышенными концентрациями железа. На территории поселка подземные воды морены отличаются еще более высокой минерализацией (до 0.5 г/л), что связано с хозяйственно-бытовым загрязнением. Основными показателями загрязнения подземных вод являются нитраты и калий, концентрации которых в колодцах достигают 66 и 25 мг/л соответственно. В естественных условиях их содержание не превышает первых единиц мг/л. Кроме того, в воде колодцев отмечается значительное количество хлоридов (до 60 мг/л), натрия (до 45 мг/л), сульфатов (до 46 мг/л), что также свидетельствует о наличии хозяйственно-бытового загрязнения. Величина перманганатной окисляемости в этих водах достигает 9-17 мгО/л, в одном из колодцев определен азот органический в количестве 0.54 мг/л. Концентрации микрокомпонентов в подземных водах естественных ландшафтов не превышают фоновые региональные показатели, в то время как в водах на территории поселка отмечаются повышенные концентрации (мкг/л) никеля (4,5), меди (11,4), цинка (375).

Таблица 2

Средние показатели химического состава подземных вод в прибрежных зонах озера (I – естественные условия, II – антропогенные условия)

Показатель, компонент	Водоносный комплекс				
	Моренный		Камовый		Озовый
	I	II	I	II	I
pH	7,1	6,6	6,1	5,9	6,4
Na, мг/л	10	35	4	7	4
K, мг/л	2,7	17,6	1	1	1
Ca, мг/л	17	40	9	8	7
Mg, мг/л	6	10	4	2	3
HCO ₃ , мг/л	130	147	28	13	40
Cl, мг/л	2	39	1,8	13	1,5
SO ₄ , мг/л	3	30	18	3	9
SiO ₂ , мг/л	24	22	14	14	16
Fe общ., мг/л	1	1	0,2	0,3	0,3
NO ₃ , мг/л	0,2	30	0,1	20	0,8
NO ₂ , мг/л	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
NH ₄ , мг/л	1	0,5	0,01	0,01	0,01
P общ., мгР/л	0,3	1	0,06	1	0,06
Минерализация, г/л	0,2	0,4	0,1	0,1	0,1

Соотношение стока и привноса солей с подземными и поверхностными водами в озеро приведено в таблице 3. Результаты расчета свидетельствуют, что, несмотря на незначительную долю подземного стока в общем водном балансе (около 16%), роль подземного химического стока имеет определяющее значение: количество солей, поступающих в озеро с подземными водами, более чем вдвое превышает химический поверхностный сток.

Таблица 3

Поступление биогенных элементов с речным и подземным стоком (т/год)

Сток, млн. м ³ /год	Минерализация	NO ₃ ⁻	P общий	Si
Поверхностный	13,3*	174**	6,5**	39**
Подземный	3,1	388	15	25

Примечание: данные* (Голомах и Сало, 2006), ** (Петрова и Лозовик, 2006).

Сравнение количества биогенных элементов, поступающих с поверхностным и подземным стоком в озеро, показало, что подземными водами выносятся в 1,5 раза меньшее количество кремния, но вдвое большее – нитратов и фосфора общего. При этом следует учесть, что подавляющая часть нитратов (90%) и фосфора (75%) поступает с подземными водами с загрязненных территорий.

Таким образом, несмотря на относительно небольшое количество подземных вод, поступающих в озеро, их влияние на солевой состав и качество озерной воды весьма значительно и сравнимо с воздействием, оказываемым поверхностными водами. Существенную роль в формировании химического состава озерной воды играет поступление элементов, в том числе биогенных, с загрязненным подземным стоком.

Литература

Богачев М.А. и др. Отчет «Поиски и оценка запасов подземных вод для водоснабжения п. Пряжа» (Подсчет запасов по состоянию на 01.01.2004 г.). Петрозаводск, 2004. 119 с. Фонды ИВПС КНЦ РАН.

Бородулина Г.С., Богачев, М.А., Литвиненко А.В., Филатов Н.Н., Регеранд Т.И. Состояние поверхностных и подземных вод и их использование для питьевого водоснабжения // Гидроэкологические проблемы Карелии и использование водных ресурсов. Петрозаводск, 2003. С.153-165.

Голомах Ю.В., Сало Ю.А. Структура многолетнего водного баланса озера Пряжинское. Петрозаводск, 2006. Настоящий сб., с. 45.

Петрова А.В., Лозовик П.А. Химический баланс озера Пряжинское. Петрозаводск, 2006. Настоящий сб., с. 82.

Зекцер И.С. Подземные воды как компонент окружающей среды. М., 2001. 328 с.