

6. Демидов И.Н., Шелехова Т.С. Диатомиты Карелии (особенности формирования, распространения, перспективы использования). Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2006, 89 с.

1. Синькевич Е.И., Экман И.М. Донные отложения озер восточной части Фенноскандинавского кристаллического щита. 1995. КарНЦ РАН. Петрозаводск. 176 с.

2. Озера Карелии. Справочник/ Под. ред. Н.Н. Филатова, В.И. Кухарева. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. 464 с.

3. Белкина Н.А. Роль донных отложений в процессах трансформации органического вещества и биогенных элементов в озерных экосистемах // Водные проблемы Севера и пути их решения / Труды Карельского научного центра РАН. 2011. №4 С. 35-41.

4. Современное состояние водных объектов республики Карелия. По результатам мониторинга в 1992-1997 гг./ Под. ред. Лозовика П.А. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1998. 188 с.

5. Состояние водных объектов республики Карелия. По результатам мониторинга в 1998–2006 гг./ Под. ред. Лозовика П.А. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 210 с.

6. Белкина Н.А. Изменение окислительно-восстановительного состояния озерных донных отложений под влиянием антропогенных факторов (на примере Ладожского и Онежского озер) // Общество. Среда. Развитие. 2014, № 3. С.152-158.

7. Белкина Н.А. Ретроспективная оценка состояния донных отложений Выгозерского водохранилища // Водные ресурсы. Т. 41, №3. С. 258-268.

8. Белкина Н.А. Ретроспективная оценка донных отложений Кондопожской губы Онежского озера // Водные ресурсы. 2005. Т. 32, №6. С. 689-699.

РЕСУРСЫ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД КАРЕЛИИ

Бородулина Г.С.,
Институт водных проблем Севера Кар НЦ РАН, г. Петрозаводск
bor6805@yandex.ru

Традиционным и основным источником водоснабжения в Карелии являются поверхностные воды. Все поверхностные водозаборы расположены в непосредственной близости к населенным и промышленным зонам, и сточные воды сбрасываются в эти же во-

доемы, причем менее 15% сброшенных вод нормативно очищены, большая часть очищена недостаточно. В связи с этим, помимо неудовлетворительного природного качества поверхностных вод (низкая минерализация, высокая цветность и содержание органических веществ, железа), техногенное загрязнение водоемов вызывает острую проблему обеспечения населения Карелии питьевой водой нормативного качества [1].

В настоящее время во многих странах отмечается тенденция к увеличению степени использования подземных вод для водоснабжения населения [2, 3]. Это объясняется тем, что подземные воды как источник водоснабжения имеют ряд преимуществ по сравнению с поверхностными по защищенности от загрязнения и эффективности использования, не требующей дорогостоящих мероприятий по водоподготовке.

Гидрогеологическая изученность Карелии в региональном плане остается достаточно слабой и неравномерной, что объясняется в первую очередь тем, что на фоне больших ресурсов поверхностных вод подземные воды до последних лет не привлекали внимания как источник водоснабжения. Доля подземных вод в общем балансе хозяйственно-питьевого водоснабжения республики никогда не превышала 5%, что является наименьшим показателем для регионов России. Однако максимально возможное использование подземных вод для питьевого водоснабжения Карелии должно стать определяющим принципом в общей стратегии повышения надежности системы хозяйственно-питьевого водоснабжения. Например, в соседней Финляндии, имеющей сходные природные условия, подземную воду используют 3,5 млн. человек [4].

Подземные воды Карелии формируются в пределах восточного склона Фенноскандинавского щита, включающего часть Балтийского гидрогеологического массива и небольшие по площади участки Ленинградского артезианского бассейна на юге и юго-востоке республики. Эти структуры формировались в разной палеогеографической обстановке, в условиях активных неотектонических процессов, с участием различных по проницаемости разрывных нарушений, что определило неоднородность водовмещающей среды, локальное распространение подземных вод и обусловило сложности в решении водохозяйственных задач региона.

В пределах Балтийского бассейна основной водоносный горизонт, имеющий повсеместное распространение, залегает в верхней

трещиноватой зоне кристаллических пород архея и нижнего протерозоя. 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 слабо-трещиноватыми. В зонах тектонических нарушений глубина распространения трещиноватости увеличивается до 100-150 м. Фильтрационные свойства трещиноватых пород изменчивы и, как правило, низкие. Водопроницаемость архейских и нижнепротерозойских пород одного порядка (в среднем 2-5 м²/сут.) [5]. Повышенная водообильность характерна для зон тектонических нарушений. Высокие значения водопроницаемости встречаются в пределах всех водоносных комплексов и объясняются характером перекрывающих четвертичных отложений, играющих ведущую роль в формировании подземного стока на кристаллическом массиве. Такие условия складываются на территориях, сложенных песчаными флювиогляциальными и озерно-ледниковыми отложениями мощностью 10 и более метров; эти образования в отдельных районах занимают значительные площади (сотни квадратных километров). На участках, где кристаллические породы непосредственно перекрыты обводненными флювиогляциальными или озерно-ледниковыми отложениями (не мореной) даже небольшой мощности, водоприток в скважины из трещиноватых пород заметно увеличивается. Наиболее значительные естественные ресурсы подземных вод (модуль стока 3-4 л/с·км²) приурочены к водосборам рек Приладожья, верхнего и среднего течения р. Шуи. Участки с высоким модулем (2-3 л/с·км²) встречаются на водосборах рек Олонки, Важинки, Суны, в верховьях рек Чирка-Кеми, Онды, Сумы. Самый низкий модуль стока (до 1 л/с·км²) отмечается на побережье Белого моря, на водосборах рек Верхний Выг и Водла [6].

Подземные воды кристаллических пород, как правило, безнапорные; лишь на отдельных локальных участках, где в покровных отложениях преобладают глинистые фракции, воды приобретают небольшой напор. Питание подземных вод осуществляется полностью за счет инфильтрации атмосферных осадков, составляющей обычно 70-100 мм/год [6]. Среднегодовая величина инфильтрации в песчаных отложениях достигает 560 мм/год [7].

Общие гидрогеологические условия открытого кристаллического массива, характеризующегося отсутствием региональных во-

доупоров, определяют довольно простую схему движения подземных вод для всех комплексов водовмещающих пород. Водосборы поверхностных и подземных вод совпадают, движение направлено от водоразделов к ближайшим поверхностным водотокам и водоемам, где происходит их разгрузка. Повсеместно напорными являются воды осадочного комплекса Русской платформы, представленные в пределах административных границ Карелии каменноугольными, девонскими и верхнепротерозойскими (валдайская серия) отложениями. В среднем водопроницаемость осадочных пород палеозоя составляет $10 \text{ м}^2/\text{сут}$, максимальные величины ($80 \text{ м}^2/\text{сут}$ – средн.) характерны для водоносных горизонтов валдайской серии.

На юге Карелии отложения валдайской серии тянутся широкой полосой от Ладожского озера до западного склона Олонецкой возвышенности. Верхнекотлинский горизонт распространен на значительной площади Олонецкой равнины. Водоносной является пачка песчаников мощностью 20-30 м, перекрытая глинистой толщей. Вблизи северных границ песчаники залегают непосредственно под четвертичными отложениями. В настоящее время воды горизонта используются для водоснабжения г. Олонца. Нижнекотлинский горизонт распространен в пределах Олонецкого района и узкой полосой тянется на северо-восток до Онежского озера. По побережью Ладожского озера и в северной части своего распространения он залегают непосредственно под четвертичными отложениями, на остальной территории перекрыт верхнекотлинским горизонтом. В пределах Олонецкого района нижнекотлинский горизонт не перспективен для водоснабжения. В северной части он резко отличается по параметрам; сложен слабосцементированными песчаниками мощностью 10-50 м, залегающими на кристаллических породах и перекрытых водоупорными глинами ледникового происхождения. Горизонт здесь характеризуется высокими фильтрационными параметрами, удельный дебит скважин колеблется от 0,5 до 2 л/с. С 2012 г. горизонт эксплуатируется для водоснабжения микрорайона г. Петрозаводска.

В целом естественные ресурсы подземных вод региона, количественно равные подземному стоку в реки (с учетом озерности водосбора) оцениваются в $8,5 \text{ км}^3/\text{год}$ [6]. Прогнозные ресурсы пресных подземных вод Карелии с учетом гидрогеологических условий и потребности населения оценены в $814,7 \text{ тыс. м}^3/\text{сут}$ [1]. Следует отметить весьма неравномерное распределение запасов подземных вод

по площади; наибольшее эксплуатационное значение принадлежит верхнекотлинскому и нижнекотлинскому горизонтам, распространенным на небольшой территории Карелии.

Централизованное снабжение подземными водами организовано только в г. Олонец, посёлках Повенец, Новая Вилга, Пряжа. В остальных населенных пунктах эксплуатируются одиночные скважины, на них приходится около 80% подземного водоотбора. Производительность скважин колеблется от 1 до 400 м³/сут, в основном составляет 30-50 м³/сут. Широко используются колодцы и родники. В республике насчитывается более 600 источников нецентрализованного водоснабжения [1]. Не поддается учёту большое количество частных скважин.

Ресурсы подземных вод региона характеризуются низкой разведанностью (13%) и освоенностью разведанных запасов (12%). В Карелии к 2013 г. разведано 29 месторождений пресных подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения (запасы составляют 108 тыс. м³/сут), из них используются менее 10. Современная и перспективная потребность в воде обеспечена утвержденными запасами только в г. Олонце. Разведанные запасы подземных вод верхне-четвертичных флювиогляциальных отложений 9 месторождений в объеме 8,5 тыс. м³/сут составляют около 8% от общих запасов. Несмотря на небольшую производительность их водозаборов (150-2000 м³/сут), они полностью обеспечивают водой небольшие поселки. Для сравнения: в Финляндии подобного рода месторождения подземных вод широко эксплуатируются, только для рассредоточенных населенных пунктов построено более 1100 водозаборов [4].

Подземные воды в пределах кристаллического массива характеризуются в целом невысокой минерализацией (как правило, менее 1 г/л), более минерализованные воды приурочены к зонам замедленного водообмена или связаны с особенностями тектонического строения. Выявляется региональная вертикальная и горизонтальная зональность, определяющая увеличение минерализации подземных вод с глубиной и по мере уменьшения степени расчлененности рельефа. Минимальные величины характерны для вод гранитогнейсовых полей Западно-Карельской возвышенности, где создаются наиболее промывные условия. Самые минерализованные и разнообразные по составу воды приурочены к породам Онежской структуры [8]. В отличие от наиболее распространенных на массиве гидрокарбонатно-кальциевых вод в породах структуры преобладают

гидрокарбонатные и гидрокарбонатно-хлоридные натриевые воды. Нередко скважинами вскрываются хлоридно-натриевые воды с минерализацией более 1 г/л, причем глубина одной скважины составила всего 100 м [9]. На участках развития пиритизированных шунгитовых пород в водах возрастает доля сульфатов и магния. В западной части Онежской структуры формируются минеральные железистые («Марциальные воды») уникального $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Mg-Ca}$ состава [10]. Редкие $\text{HCO}_3\text{-Mg-Ca}$ щелочные воды встречаются в пределах ультраосновного массива. На Заонежском полуострове известен родник «Соляная яма» – единственный в Карелии естественный очаг разгрузки соленоватых (до 4 г/л) хлоридно-натриевых подземных вод, связанной, по-видимому, с зонами складчато-разрывных дислокаций. Свидетельством в пользу существования таких вод служит новая информация о разрезе карельских образований Онежской структуры, включающих мощную толщу каменных солей ятулия [11].

Минерализация подземных вод пород валдайской серии и комплексов палеозоя в зависимости от условий залегания горизонтов изменяется от 0,2 г/л до 10-15 г/л. Так, нижнекотлинский горизонт в пределах г. Петрозаводска характеризуется минерализацией 0,2-0,4 г/л, а южнее в Олонецком районе уже не перспективен для водоснабжения (минерализация 2-8 г/л). Наблюдается резкий переход пресных вод верхнекотлинского горизонта с минерализацией до 0,5 г/л к соленоватым (более 1 г/л) вдоль южной окраины г. Олонца. При эксплуатации верхнекотлинского горизонта происходит подтягивание соленоватых вод и увеличение минерализации в отдельных скважинах выше 1 г/л.

Содержания микрокомпонентов в подземных водах региона в целом сравнительно низкие. Их концентрации изменяются в широких пределах, но медианные величины только Sr, Ba, Al, Zn, Mn попадают в интервал 10-100 мкг/л, остальных элементов – ниже 10 мкг/л. В Карелии очень низка доля большинства биологически важных микроэлементов (F, I, Cu, Cr, Zn, Co, Mo, Se, Ni, V), поступающих в организм человека с подземной водой; значительная часть ресурсов подземных вод представлена железосодержащими водами. Концентрации железа в водах региона достигают десятков и даже сотен мг/л; его высокие концентрации наиболее характерны для районов с максимальными мощностями перекрывающих четвертичных отложений или наличием даже локальных водоупоров,

что приводит к исчезновению в водах кислорода и установлению низких положительных (100-250 мВ) значений Eh. Бескислородные и бессульфидные воды являются, как правило, комплексными железомарганцевыми.

Особый интерес представляют радиоактивные элементы в подземных водах региона. Фоновая концентрация урана составляет 0,1 мкг/л, максимальные величины достигают 300 мкг/л. Максимальная концентрация радия ($8,2 \cdot 10^{-12}$ г/л) установлена в хлориднонатриевых водах. Одним из наиболее экологически важных показателей является радон. Его содержание в подземных водах Карелии изменяется в широких пределах – от единиц до тысяч Бк/л. Воды с высоким содержанием радона приурочены к системам разломов, контролирующим размещение основной массы радиоактивных пород; в их пределах зафиксированы максимальные концентрации радона в подземной воде (2000-9400 Бк/л) [8]. В воде 50% обследованных в регионе скважин и 20% родников активность радона превышает 60 Бк/л. В 11 км к юго-востоку от г. Костомукша разведано Кондокское месторождение (6 м³/сут) лечебных радоновых вод средней концентрации (3200-4800 Бк/дм³).

Среди элементов антропогенного происхождения следует особо выделить нитраты, которые являются прямыми показателями хозяйственно-бытового загрязнения. Содержание нитратов в грунтовых водах часто достигает высоких значений (до 330 мг/л), наблюдается отчетливая пространственная приуроченность нитратного загрязнения подземных вод к заселенным территориям. Из общего количества опробованных родников и колодцев в поселках и городах только 12% имеют концентрацию нитратов менее 10 мг/л, в 20% – превышают 45 мг/л [12].

Литература

1. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2010 г. – Петрозаводск: ИП Андреев П.Н., 2013. – 300 с.
2. Зекцер И.С. Подземные воды мира. – М.: Наука, 2007. – 438 с.
3. Водные ресурсы Республики Карелия и пути их использования для питьевого водоснабжения. Опыт карельско-финляндского сотрудничества. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. – 263 с.
4. Бородулина Г.С., Игонин А.В. Подземные воды Карелии/ Горный журнал. 2012. №5. С.32-33.

5. Иешина А.В., Поленов И.К., Богачев М.А., Теруков В.С., Логинова Л.Ф., Перская Е.А., Бородулина Г.С. Ресурсы и геохимия подземных вод Карелии. – Петрозаводск: Карельск. фил. АН СССР, 1987. – 151 с.

6. *Soveri J.* Influence of meltwater on the amount and composition of groundwater in Quaternary deposits in Finland. № 63. Helsinki. National Board of Waters, 1985. P.92.

7. Бородулина Г.С. Качество подземных вод /В кн. Водные ресурсы Республики Карелия и пути их использования для питьевого водоснабжения. – Петрозаводск: Кар. НЦ РАН, 2006. – 263 с.

8. Бородулина Г.С., Токарев И.В. Геохимические и изотопные особенности подземных и поверхностных вод в пределах Онежской палеопротерозойской структуры //Тезисы докладов научной конференции. Санкт-Петербург, 2013. С. 11-14.

9. Токарев И. В., Бородулина Г.С., Блаженникова И.В., Авраменко И.А. Условия формирования железистых минеральных вод по изотопно-геохимическим данным (курорт “Марциальные воды”, Карелия) //Геохимия, №1, 2015. С. 88-91.

10. Онежская палеопротерозойская структура (геология, тектоника, глубинное строение и минерагения). – Петрозаводск: Кар. НЦ РАН, 2011. – 431 с.

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

**К АКТУАЛИЗАЦИИ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПЕРМАНЕНТНОГО НАКОПЛЕНИЯ ДОННЫХ
ОТЛОЖЕНИЙ ИЗ АЛЛОХТОННЫХ И АВТОХТОННЫХ
ВЗВЕСЕЙ В ПРЕСНОВОДНЫХ И
МОРСКИХ ВОДОЁМАХ**

Гулин М.Б.

Институт биологии южных морей, г. Севастополь

m_gulin@mail.ru

Обсуждаются результаты экспедиционных исследований в период 1995-2015 гг., а также литературные данные по изучению процессов седиментации и биоседиментации в ряде существующих и реликтовых озёрных системах (Ильмень, Кояшское, Тобекчийское). Аналогичные процессы освещены и в отношении Чёрного моря как