

УДК 556.1:556.334:556.114.6.027 (470.2)

ВОДООБМЕН В КРАЕВЫХ ЧАСТЯХ БАЛТИЙСКОГО ЩИТА И ПРИЛЕГАЮЩИХ АРТЕЗИАНСКИХ БАССЕЙНАХ ПО ИЗОТОПНЫМ И ХИМИЧЕСКИМ ДАННЫМ (НАУЧНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ). КАРЕЛЬСКИЙ ПЕРЕШЕЕК

**Г. Ю. Воронюк¹, Г. С. Бородулина², И. А. Крайнюкова³,
И. В. Токарев³**

¹ *Петербургская комплексная геологическая экспедиция, Росгеология*

² *Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН*

³ *Санкт-Петербургский государственный университет, Научный парк, РЦ «Геомодель»*

Исследован химический и изотопный состав воды (содержание дейтерия и кислорода-18), а также активности трития в подземных водах вендского и рифейского водоносных комплексов на Карельском перешейке – территории, активно развивающейся в хозяйственно-экономическом отношении. Для области питания вендского комплекса оценка темпов водообмена по тритию дает возрасты подземных вод до 100 лет, а в области распространения перекрывающего котлинского водопора по радий/радоновому методу – от нескольких сотен до нескольких тысяч лет. Изотопные данные ($\delta^2\text{H}$ и $\delta^{18}\text{O}$) указывают, что на площади развития котлинских глин отсутствует площадное инфильтрационное питание вендского комплекса, он защищен от загрязнения с поверхности, а его ресурсы обеспечены преимущественно боковым притоком. В Ладожском грабене, по-видимому, господствует режим замедленного водообмена, так как на глубине 250 м по изотопно-гидрохимическим критериям идентифицируются реликтовые воды Балтийского ледникового озера.

Ключевые слова: Карельский перешеек; подземные воды; химический и изотопный состав; условия формирования ресурсов; время водообмена; защищенность.

**G. Yu. Vroniuk, G. S. Borodulina, I. A. Krainyukova, I. V. Tokarev.
GROUNDWATER EXCHANGE IN THE BALTIC SHIELD MARGINAL
AREAS AND ADJACENT ARTESIAN BASINS BASED ON ISOTOPE AND
HYDROCHEMISTRY DATA. SCIENTIFIC PROBLEMS AND PRACTICAL
APPLICATIONS. KARELIAN ISTHMUS**

Water chemical and isotopic composition (deuterium content and oxygen-18), as well as the activity of tritium in groundwater of Riphean aquifer and Vendian complex in the Karelian Isthmus were studied. Estimation of recharge rate for groundwater of the Vendian complex by tritium yielded groundwater ages up to 100 years for this area, which is located not far from Central Karelian watershed. For the area where the Vendian complex is overlapped by the Kotlin aquiclude, water age varied from several hundreds to several thousands years as determined by the radium/radon method. Isotopic data ($\delta^2\text{H}$

and $\delta^{18}\text{O}$) indicate that the Vendian complex has no recharge there, and the complex is therefore protected from contamination from the surface, and at the same time its resources are mainly supplied by lateral inflow. The Ladoga graben is apparently dominated by slow water exchange regime, given that at a depth of 250 m relict waters of the Baltic Ice Lake were identified by isotope and hydrochemical criteria.

Key words: Karelian Isthmus; groundwater; chemical and isotopic composition; conditions of resource formation; water exchange time; protection against pollution.

Введение

Вендский водоносный комплекс (ВВК) в пределах Карельского перешейка является основным источником водоснабжения [Кармазинов, 2003; Закон..., 2006; Игнатъев и др., 2015]. Интенсивная эксплуатация ВВК связана с возрастанием водопотребления вследствие активного хозяйственно-экономического развития территории. Удобство эксплуатации ВВК обусловлено удовлетворительным, как правило, качеством воды, выдержанностью комплекса по площади и разрезу, а также защищенностью от загрязнения с поверхности. Между тем обоснование плана развития на перспективу нуждается в прогнозной оценке ресурсов и качества подземных вод, а также в выработке управляющих решений для последующего регулирования водопользования.

Наиболее современным подходом к задаче прогноза является создание гидрогеологических карт нового поколения, состоящих из электронной версии «бесшовной» карты, базы данных и набора постоянно действующих численных моделей. Некоторые элементы такого комплекса для Карельского перешейка уже имеются. В 1980-х годах была создана первая региональная численная гидродинамическая модель [Широкова, Рошаль, 1982], а в 2005 г. выполнена региональная переоценка запасов на базе актуализированной модели [Баскова, Воронюк, 2013]. В 2007–2014 гг. проведено гидрогеологическое доизучение масштаба 1:200 000, выполнена оценка защищенности и прогнозных ресурсов подземных вод по категории P_2 , создан комплект электронных карт в формате геоинформационных систем и базы данных [Игнатъев и др., 2015].

В статье демонстрируется возможность использования информации об изотопном составе воды (содержаниях дейтерия – $\delta^2\text{H}$ и кислорода-18 – $\delta^{18}\text{O}$) и концентрациях трития (^3H) для улучшения интерпретации результатов региональных гидрогеологических работ.

Описание района

Карельский перешеек в геолого-гидрогеологическом отношении представляет собой

сочленение Восточно-Европейского артезианского бассейна и Балтийского гидрогеологического массива [Баскова, Воронюк, 2013]. На севере территории на поверхность выходят древние кристаллические породы, мощность осадочного чехла увеличивается в направлении на юг и юго-восток (рис. 1). В зоне Ладожского грабена депрессию в кровле фундамента заполняют рифейские водоносные образования, представленные разнородными песчаниками, достигающими мощности 500 м.

Базальная пачка чехла ВВК представляет собой нерегулярное переслаивание песчаных и глинистых разностей слабо литифицированных пород, как правило, с относительно более глинистой средней частью. Мощность комплекса изменяется от первых метров на северо-западе до 170 м на юго-востоке площади. Граница выклинивания комплекса имеет сложный вид и определяется положением Лемболовской возвышенности, современными речными долинами и палеоруслуями (рис. 1).

Вендский комплекс перекрыт котлинским (верхневендским) региональным водоупором, сложенным плотными пластичными глинами. Мощность водоупора достигает 118 м в юго-восточной части перешейка, граница выклинивания в северной и западной части территории также имеет сложный вид.

Четвертичные водоносные горизонты и водоупоры не выдержаны по мощности и проницаемости и распространенности в плане. Наиболее водообильны межморенные водоносные горизонты (ММВГ). Как правило, наибольшая их мощность приурочена к участкам распространения речных палеодолин.

Питание подземных вод четвертичных горизонтов осуществляется за счет прямой площадной инфильтрации атмосферных осадков, а ММВГ, в некоторых случаях, – за счет бокового подтока. Основное питание вендского комплекса поступает со стороны Лемболовской возвышенности, то есть определяется латеральным региональным потоком подземных вод. Исключение составляют локальные зоны палеодолин и гидрогеологических окон, на участках развития которых вопрос о темпах

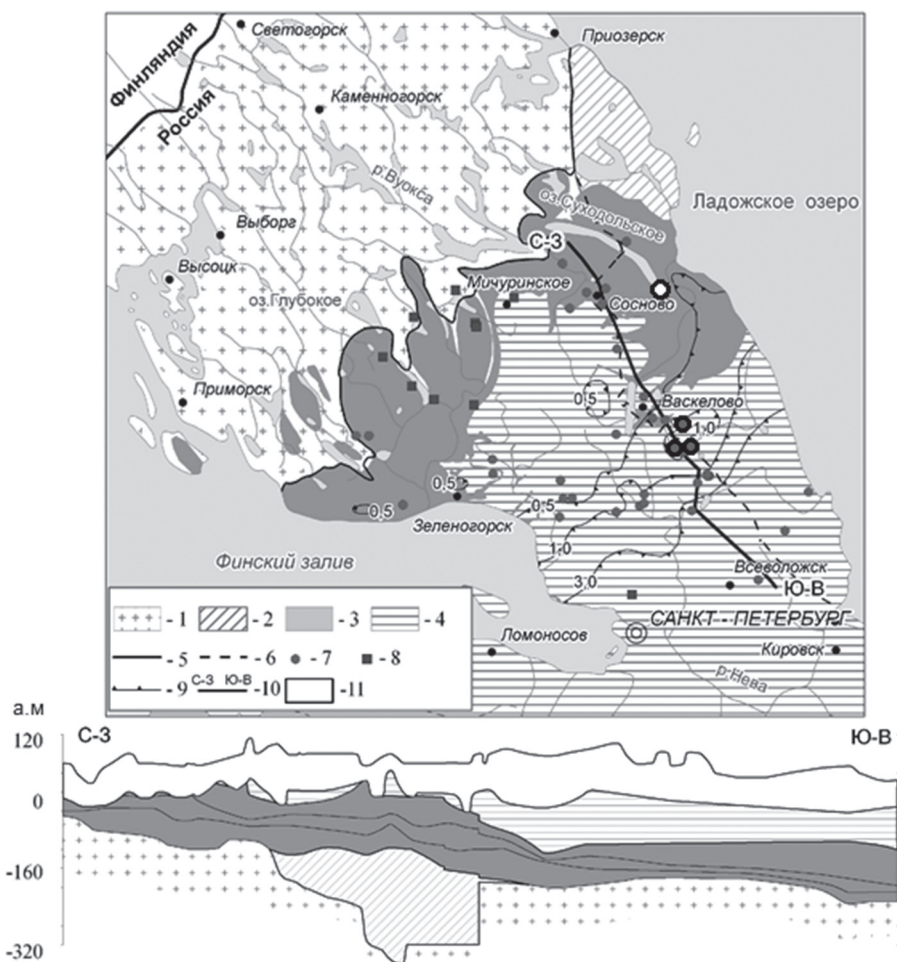


Рис. 1. Схема площади исследований (со снятым чехлом четвертичных отложений):

1 – кристаллические породы; 2–4 осадочный чехол: 2 – рифейский ВК, 3 – вендский ВК, 4 – верхневендский (котлинский) региональный водоупор; 5 – граница между шитом и платформой; 6 – граница Ладожского и Балтийского гидрогеологических районов; 7 – точки опробования подземных вод на дейтерий и кислород-18 (крупным значком с белой заливкой выделена скважина № 13 в пос. Луговое, крупными значками с серой заливкой – скважины в пос. Куйвозы, Заводском и СНТ «Карелия», см. ниже); 8 – точки опробования подземных вод на тритий; 9 – изолинии минерализации вод ВВК (г/л); 10 – линия разреза; 11 – четвертичный водоносный комплекс (показан только на разрезе)

и направлении перетекания остается открытым [Баскова, Воронюк, 2013].

Ученный отбор подземных вод Карельского перешейка на 2012 г. составлял 37 тыс. м³/сут [Баскова, Воронюк, 2013; Игнатъев и др., 2015]. Нарращивание водоснабжения на Карельском перешейке возможно за счет как межморенных горизонтов, так и вендского комплекса. Ресурсы грунтового горизонта и ММВГ определены в объеме 408 тыс. м³/сут [Баскова, Воронюк, 2013]. Однако отметим, что сложное строение межморенных горизонтов затрудняет оценку их ресурсов. Кроме того, в значительной части случаев в подземных водах ММВГ обнаруживается повышенное содержание Fe, Mn, NH₄⁺, связанное с природной обстановкой,

а в некоторых случаях также Cd, Cr и NH₄⁺, по-видимому, вследствие техногенного загрязнения [Токарев и др., 2013; Баскова, Воронюк, 2013].

Эксплуатация ВВК предоставляет существенные выгоды вследствие его выдержанности по площади и разрезу, а также защищенности от перетекания с поверхности. Поэтому рассмотрим данные по вендскому комплексу более детально.

Запасы ВВК оценены в объеме 156 тыс. м³/сут при сложившейся схеме водозаборов, а по данным моделирования могут быть увеличены до 260 тыс. м³/сут при оптимизации системы водоотбора [Баскова, Воронюк, 2013]. Однако расширение водоотбора может иметь

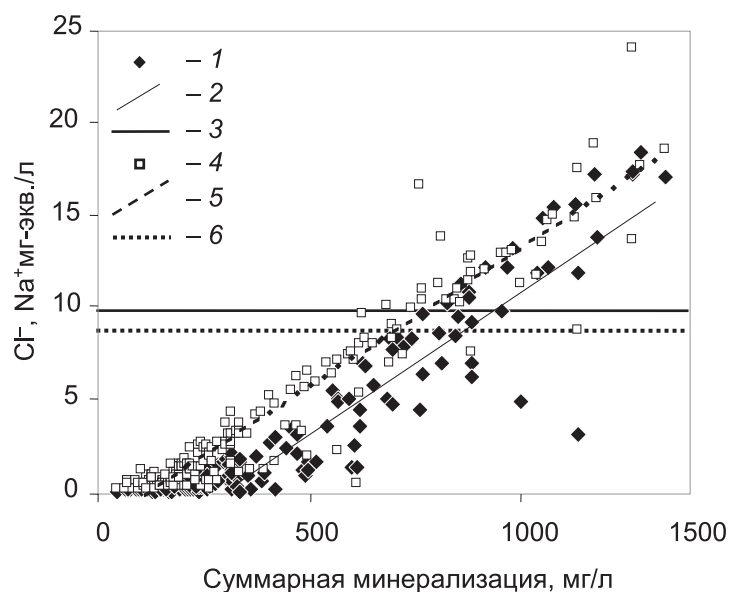


Рис. 2. Соотношение содержания хлоридов и натрия в водах межморенных горизонтов и вендского комплекса:

1 – содержание Cl^- ; 2 – линия аппроксимации данных по Cl^- ; 3 – ПДК для Cl^- ; 4 – содержание Na^+ ; 5 – линия аппроксимации опытных данных по Na^+ ; 6 – ПДК для Na^+

следствием сверхэксплуатацию ВВК, поскольку его извлекаемые запасы на значительной площади формируются за счет упругой водоотдачи и латерального потока.

В 1970-х годах в связи с интенсивным отбором воды для технических нужд произошло первое снижение напоров в ВВК, оцениваемое величиной около 70 м. Центр депрессионной воронки располагался в пределах городской черты, где восстановление напоров с конца 1980-х до начала 2000-х годов составило примерно 60 м. В последние годы напоры в ВВК снова начали снижаться, но теперь уже в связи с отбором воды в северной части Санкт-Петербурга и на Карельском перешейке. На начало 2014 г. учтенный водоотбор из ВВК составил около 27 тыс. м³/сут [Баскова, Воронюк, 2013; Игнатъев и др., 2015], а нелегализованный водоотбор для частных нужд экспертно оценивался соизмеримой величиной. В настоящее время площадь воронки достигает 20 тыс. км², протяженность по субширотной оси несколько превышает 100 км и 60 км – по субмеридиональной [Кармазинов, 2003; Игнатъев и др., 2015]. Центр тяготеет к пос. Черная Речка в 30 км на северо-запад от г. Санкт-Петербурга, где понижение достигает 60 м.

В вендском комплексе в направлении от области питания на юг и юго-восток наблюдается заметный рост минерализации, которая достигает 3 г/л на правом берегу р. Невы (рис. 1). Увеличение минерализации более

400 мг/л обусловлено ростом содержания Na^+ и Cl^- [Токарев и др., 2013]. Отметим, что превышение ПДК по Na^+ и Cl^- (200 и 350 мг/л соответственно) обнаруживается уже при минерализации 650–750 мг/л (рис. 2).

В юго-восточной части Карельского перешейка, там, где минерализация подземных вод, согласно схеме на рисунке 1, превышает 1,5 г/л, увеличение солёности наблюдается также с глубиной. Смещение центра тяжести водоотбора из ВВК на Карельский перешеек может со временем привести к перемещению контура солёных вод на север и их вертикальному подъёму в разрезе. Последнее может привести к выходу из строя уже действующих водозаборов, как это произошло, например, в Эстонии [Raidla et al., 2009].

Материалы и методы

Отбор проб воды на химический и прочие анализы производился в ходе опытных откачек или после достаточно продолжительных прокачек, а также из эксплуатационных скважин; сами анализы выполнялись по стандартным методикам в сертифицированных лабораториях. Отбор проб на тритий производился в стеклянную посуду (во избежание заражения проб тритием во время хранения, что особенно критично для подземных вод) объемом 0,3–0,5 л. Измерения выполнялись на низкофономом жидкостно-сцинтилляционном спектрометре Quantulus

Таблица 1. Содержание трития в подземных водах Карельского перешейка

Расположение скважины		Глубина	Водовмещающие породы	Минерализация воды, г/л	Концентрация трития, ТЕ*	Оценочный возраст, лет**
Район	Населенный пункт (номер скважины по каталогу)	Интервал опробования, м				
Выборгский	п. Вещево (53365)	$\frac{130}{80-130}$	$AR - PR_1$	0,20	10 ± 2	< 10
	п. Кирпичное (3252)	$\frac{75}{60,6-74,7}$	$llms - lllos$	0,14	14 ± 2	< 10
	п. Красносельское (27074)	$\frac{26}{22-26}$	$llms - lllos$	0,28	15 ± 2	< 10
	п. Пушное (3305)	$\frac{70}{50,2-56,6}$	$llms - lllos$	0,13	13 ± 1	< 10
	п. Краснозерное (74297)	$\frac{60}{43-60}$	$llms - lllos$	0,44	6 ± 1	10–100
	п. Коробицино (3421)	$\frac{155}{146-155}$	V	0,20	9 ± 1	10–100
	п. Коробицино (3401)	$\frac{100}{82-88}$	$llvl - ms$	0,13	8 ± 1	10–100
	п. Первомайский (3280)	$\frac{159}{130-159}$	V		7 ± 1	10–100
	п. Цвелодубово (1543)	$\frac{110}{58-65}$	$llms - lllos$	0,09	9 ± 1	10–100
Приозерский	п. Мичуринское (36865)	$\frac{170}{123-165}$	V	0,10	4 ± 1	100–500
Санкт-Петербург	ул. Байконурская, 12 (94/3)	$\frac{83,5}{74-82}$	$llvl - ms$	0,23	12 ± 2	< 10

Примечание. * Современный фон трития в атмосферных осадках региона 9–17 ТЕ [Kortelainen, 2009]; ** оценка согласно [Ферронский, Поляков, 2009].

Таблица 2. Оценка степени защищенности подземных вод по содержанию трития, используемая при построении карт масштаба 1:500 000 [Ферронский, Поляков, 2009]

Степень защищенности	Содержание трития, ТЕ	Расчетное время проникновения компонента-загрязнителя в водоносный горизонт с поверхности, лет
Незащищенные	> 10	< 10
Слабо защищенные	10–5	10–100
Относительно защищенные	5–3	100–500
Защищенные	< 3	> 500

после электролитического обогащения (ошибки измерений указаны в таблице). Отбор проб на изотопный состав воды производился в пластиковые виалы объемом 20–40 мл, анализ выполнялся на лазерном инфракрасном спектрометре Picarro L-2120i в Ресурсном центре «Геомодель» (Научный парк СПбГУ). Погрешность измерения составляла $\pm 0,1\%$ для $\delta^{18}O$ и $\pm 1\%$ для δ^2H . При отборе емкости заливались полностью для минимизации пузырька воздуха, до передачи в лабораторию пробы хранились в прохладном темном месте (в полевых условиях) или в холодильнике вниз горлом.

Результаты и обсуждение

Известно, что темп водообмена в подземных горизонтах контролируется главным

образом их положением относительно области питания и базиса дренирования. На Карельском перешейке значительная часть ВВК расположена гипсометрически существенно ниже региональных базисов дренирования – Финского залива, Ладожского озера и р. Невы, следовательно, на этих участках водообмен в нем должен быть замедлен.

Для ориентировочной оценки возраста подземных вод ВВК был использован радий/радоновый метод датирования [Гудзенко, Дубинчук, 1987]. Для северного берега Финского залива расчет дает среднее время пребывания воды в горизонте от 0,8 до 3,4 тыс. лет. Соответственно, можно принять, что в области развития верхнекотлинского водоупора загрязнение ВВК с поверхности практически исключено. Это также означает, что перетекание через

Таблица 3. Изотопный состав подземных вод Карельского перешейка и расчет температур воздуха в период выпадения атмосферных осадков, участвовавших в формировании инфильтрационного питания

Местоположение (номер скважины по каталогу)	Водовмещающие породы	$\delta^{18}\text{O}^*$, ‰	$\delta^2\text{H}^*$, ‰	Средняя расчетная температура, °С
пос. Васкелово (85)	V+R	-13,1	-93	0,99
пос. Верхние Осельки (12)	V	-13,3	-95	0,66
пос. Верхние Осельки (12) **	V	-13,4	-95	0,59
СНТ*** «Карелия»	V	-14,4	-103	-0,85
пос. Сосново (56682)	V	-12,7	-88	1,72
пос. Сосново (хлебзавод Петрохлеб)	R	-12,5	-89	1,78
пос. Луговое (13)	V+R	-13,4	-93	0,77
пос. Орехово (5/96)	V	-12,6	-87	1,89
пос. Заводской (б/н)	V	-14,0	-103	-0,56
пос. Куйвози (б/н)	V	-14,2	-104	-0,79
СНТ «Озерное» (б/н)	V	-12,3	-88	2,01
пос. Семиозерье (0403002)	V	-11,9	-84	2,66
пос. Приветинское (б/н)	V	-11,3	-80	3,45
пос. Поляны (б/н)	V	-11,8	-83	2,82
пос. Ильичево (63777)	V	-11,8	-82	2,91
пос. Ленинское (б/н)	V	-12,2	-85	2,35
г. Выборг (частная скважина около оз. Краснохолмское)	AR – PR ₁	-12,5	-88,3	1,84
г. Выборг (родник)	AR – PR ₁	-12,5	-88,8	1,80
Среднегодовая температура воздуха по метеонаблюдениям				4,3

Примечание. * Результаты приведены относительно стандарта средней океанической воды (SMOW); ** повторное опробование; *** садоводческое некоммерческое товарищество.

котлинские глины незначительно и делает сомнительным возможность привлечения дополнительных ресурсов из четвертичных горизонтов за счет площадного питания.

Для Карельского перешейка впервые было выполнено систематическое определение изотопного состава воды и содержания трития в различных горизонтах (рис. 1, 3; табл. 1, 3). По содержанию трития может быть выполнена приближенная оценка возраста подземных вод согласно [Ферронский, Поляков, 2009]. Из полученных количественных оценок следует, что в районе Лемболовских высот во всех горизонтах имеет место быстрый водообмен и, соответственно, относительно низкая защищенность подземных вод от загрязнения с поверхности (табл. 2).

Региональный тренд вариаций изотопного состава подземных вод соответствует локальной линии метеорных вод, аппроксимирующей изменение изотопного состава осадков на Карельском перешейке в 2012–2015 гг. (рис. 3). На диаграмме показаны также средние изотопные составы осадков за год и за холодный сезон, вычисленные по многолетним данным.

Под холодным сезоном понимается период, когда средняя суточная температура оказывается ниже +5 °С и влияние эвапотранспирации на водный баланс становится пренебрежимо мало. В этот период происходит основное влагонакопление и в том числе питание подземных вод (на Карельском перешейке это октябрь–апрель).

Сопоставление составов подземных вод и атмосферных осадков показывает, что первые формируются преимущественно за счет инфильтрации осадков холодного сезона (табл. 3). Преобладание питания подземных вод в период весеннего половодья подтверждается наблюдениями за уровнем подземных вод в режимных скважинах. Если принять во внимание только те пробы, которые содержат заметные активности трития, то в изотопном составе подземных вод, имеющих современное инфильтрационное питание, присутствует в среднем $\delta^{18}\text{O} = -12,4\text{‰}$ и $\delta^2\text{H} = -87\text{‰}$. Откуда, согласно [Dansgaard, 1964], средняя температура воздуха в период выпадения осадков, идущих на питание подземных вод ВВК, составляет +2,1 °С (в то время как современная

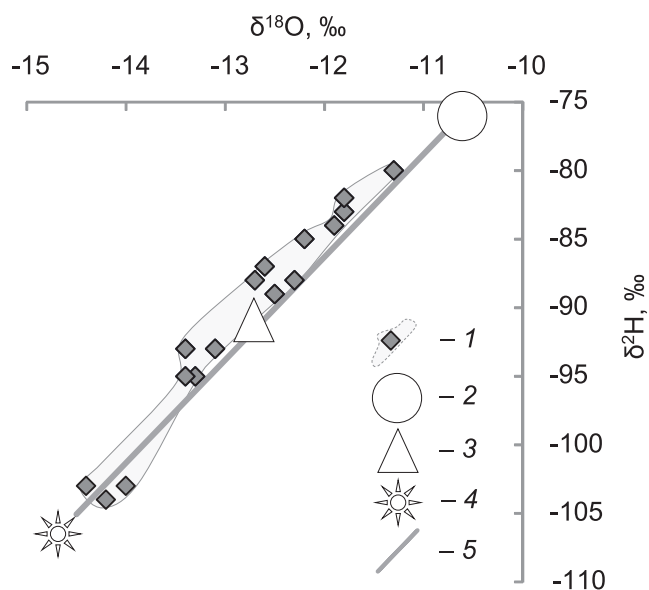


Рис. 3. Изотопный состав подземных вод вендского и рифейского комплексов на Карельском перешейке:

1 – индивидуальные измерения (залита область вариаций изотопного состава подземных вод ВВК, будет использована на следующем рисунке); 2 – средневзвешенный многолетний изотопный состав атмосферных осадков в районе Санкт-Петербурга с учетом вариаций объема выпадений и состава осадков во времени; 3 – средневзвешенные осадки холодного периода года; 4 – средний состав снега в зиму 2011–2012 и 2012–2013 гг.; 5 – локальная линия метеорных вод, оцененная по результатам мониторинга атмосферных осадков в 2012–2015 гг. на станциях «Петергоф» и «Ламмин-Суо»

среднегодовая температура по метеонаблюдениям $+4,3\text{ }^{\circ}\text{C}$).

При удалении от области питания в целом отмечается облегчение изотопного состава подземных вод ВВК. В некоторых случаях их изотопный состав оказывается существенно легче среднего изотопного состава осадков за холодный сезон и приближается к среднему составу снега (СНТ «Карелия», пос. Заводской и пос. Куйвози). Это позволяет предположить, что подземные воды, обнаруженные на данном участке, поступили в подземную гидросферу в относительно более холодных климатических условиях, чем современные (расчетная температура воздуха для них варьирует от $-0,56$ до $-0,85\text{ }^{\circ}\text{C}$, табл. 3). Последнее означает, что эти воды должны иметь достаточно большой возраст, а современное инфильтрационное питание на данной площади отсутствует.

Особый интерес вызывают результаты опробования подземных вод вендского и рифейского комплексов в районе юго-восточной оконечности оз. Суходольского, относительно недалеко от области питания ВВК. Особенностью геологического строения на этом участке

является отсутствие регионального котлинского водоупора и появление в составе ВВК слоя глин мощностью 20 м, который отделяет редкинский водоносный горизонт от вышележащего московско-осташковского.

Подземные воды опробовались скважиной глубиной 250 м, углубление которой выполнялось интервалами по 30 м, после чего осуществлялись выпуски (пос. Луговое, рис. 1; табл. 3). Нижняя часть ствола вскрыла кровлю рифейского ВК на абсолютной отметке $-75\text{...}-80$ м. Уровень подземных вод на конец проходки установился в 7 м над поверхностью земли ($+18$ м), что превышает отметку уреза воды в расположенном в 900 м к северу оз. Суходольском ($+6$ м). При вскрытии разреза произошло последовательное увеличение дебита выпуска с 500 до более чем $1000\text{ м}^3/\text{сут}$.

Минерализация воды в начале опробования составляла около 140 мг/л , а в конце, после вскрытия рифейских отложений, достигла 640 мг/л (рис. 4). Произошла смена состава подземных вод с $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ на $\text{Cl-HCO}_3\text{-Na}$, а также заметно изменилось содержание некоторых микроэлементов.

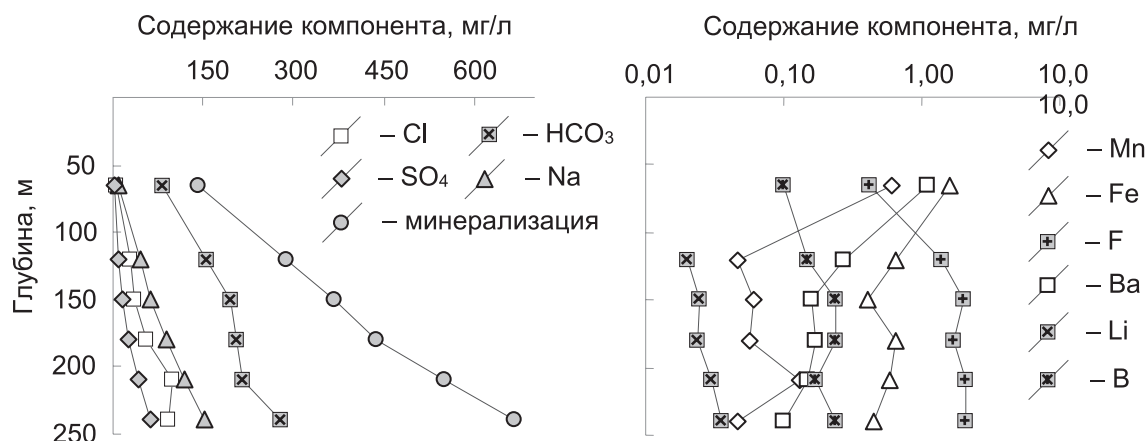


Рис. 4. Изменение химического состава воды в ходе опробования самоизливающей скважины в районе южной оконечности оз. Суходольское (пос. Луговое, табл. 3, положение скважины – см. рис. 1)

Одновременно с изменением химического облика наблюдалось значительное облегчение изотопного состава подземных вод (табл. 4). Это облегчение настолько велико, что воды рифейского комплекса оказываются изотопически легче, чем современный снег в среднем (рис. 5). Расчет температур воздуха в период образования осадков, согласно [Dansgaard, 1964], дает температуру воздуха в период формирования инфильтрационного питания $t = -3,9^\circ\text{C}$ и указывает на происхождение вод рифейского комплекса в эпоху с суровым климатом (табл. 4).

Аналогичная тенденция облегчения изотопного состава воды с глубиной обнаружена нами и для ломоносовского горизонта на территории южнее Финского залива. В районе г. Сосновый Бор, где этот горизонт выходит на поверхность, изотопный состав воды идентичен современным атмосферным осадкам (рис. 4). На водозаборе Ивангорода подземные воды ломоносовского горизонта вскрыты на глубине около 90 м. Здесь они оказываются заметно облегченными по изотопному составу, схожи с водой

рифейского ВК в районе пос. Лугового и не содержат трития. При дальнейшем движении на запад наблюдается экстремальное облегчение изотопного состава воды, вплоть до величин $\delta^{18}\text{O} \approx -22\text{‰}$ и $\delta^2\text{H} \approx -170\text{‰}$ на Таллинском водозаборе. Для этого участка надежно доказано [Raidla et al., 2009], что воды ломоносовского горизонта представляют собой реликты воды Балтийского ледникового озера, существовавшего на месте Балтийского моря около 13 тыс. лет назад [Climate..., 2010].

Выводы

Хозяйственное освоение Карельского пещерника ведет к существенному росту водопотребления, в связи с чем важной является оценка ресурсов и качества подземных вод, а также их защищенности от загрязнения. Улучшение таких оценок может быть достигнуто на базе изотопных методов, позволяющих установить темп водообмена, рассчитать ресурсы подземных вод, а также интенсивность перетекания через региональные водоупоры.

Таблица 4. Изменение изотопного состава воды в ходе поинтервального опробования самоизливающей скважины (пос. Луговое, рис. 1, табл. 3) и расчет температуры воздуха в период образования осадков

Глубина отбора пробы, м	Вмещающие породы	$\delta^{18}\text{O}$, ‰	$\delta^2\text{H}$, ‰	Средняя расчетная температура*, °C
94	V	-13,4	-93	0,8
120	V	-13,7	-96	0,3
150	V	-14,2	-100	-0,4
180	V	-14,9	-108	-1,7
210	V	-16,3	-117	-3,5
240	V+R	-16,6	-119	-3,9

Примечание. * Температура в период образования осадков рассчитана согласно [Dansgaard, 1964].

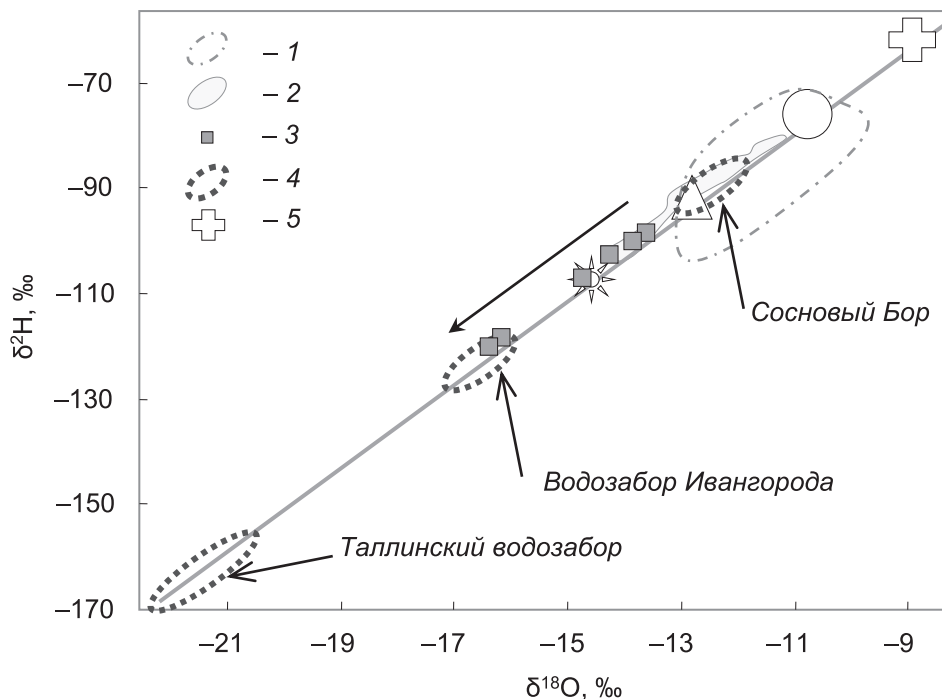


Рис. 5. Изотопный состав воды различных горизонтов в Ленинградской области и их сравнение с данными по Эстонии:

1 – четвертичные отложения, в том числе межморенные горизонты; 2 – ВВК и рифейский комплекс; 3 – изменение изотопного состава воды из скважины в пос. Луговое (табл. 4, стрелкой показан тренд изменения состава воды по мере углубления скважины); 4 – скважины на ломоносовский горизонт (местоположение указано в подписях на рисунке, данные для Таллинского водозабора взяты из [Raidla et al., 2009]); 5 – средние осадки теплого периода года (среднесуточная температура выше +5 °С); остальные обозначения на рис. 3

В настоящей работе приведены впервые полученные данные по изотопному составу воды и содержанию трития для водоносных горизонтов на Карельском перешейке. На базе этой информации можно сделать следующие выводы относительно условий формирования ресурсов и качества подземных вод.

В области выклинивания вендского водоносного комплекса возраст подземных вод, оцененный тритиевым методом, не превышает 100 лет. В области распространения верхнекотлинского водоупора, по-видимому, повсеместно обеспечивается хорошая защищенность от техногенного загрязнения с поверхности, на что указывают оценки возраста подземных вод радий/радоновым методом в интервале от 0,8 до 3,4 тыс. лет. Низкая проницаемость водоупора существенно снижает потенциал привлечения дополнительного питания за счет перетекания, даже при значительных понижениях напора в вендском водоносном комплексе.

В восточной и юго-восточной части Карельского перешейка, в относительной близости к области питания, по изотопному составу воды идентифицируется наличие реликтовых вод,

в формировании которых принимали участие воды древнего Балтийского ледникового озера. Современная связь поверхностных и подземных вод на этой площади затруднена, в том числе, по-видимому, отсутствует разгрузка подземных вод в Ладожское озеро. Значительный возраст воды в рифейском и вендском водоносных комплексах указывает на относительно низкие темпы водообмена и, следовательно, малый ресурсный потенциал на этих участках, так как эксплуатация подземных вод возможна практически только за счет упругих запасов.

Увеличение водоотбора на Карельском перешейке может привести к перемещению границы некондиционных соленых вод на север и северо-запад в сторону современного центра тяжести водоотбора, а также к подъему верхней границы соленых вод по разрезу.

Наблюдения за изотопным составом осадков, а также все измерения изотопного состава подземных вод выполнены при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 14-17-00766).

Литература

Баскова И. В., Воронюк Г. Ю. Отчет о выполнении работ по объекту «Гидрогеологическое доизучение масштаба 1:200 000 листа Р-35-XXXVI (Северо-Петербургская площадь)». ОАО «ПКГЭ», СПб, 2013. ФБУ «ТФГИ по СЗФО», № 28319.

Гудзенко В. В., Дубинчук В. Т. Изотопы радия и радон в природных водах. М.: Наука, 1987. 159 с.

Закон Ленинградской области от 6 сентября 2006 г. № 106-оз «О региональной целевой программе “Обеспечение населения Ленинградской области питьевой водой в 2007–2010 годах”» (Принят Законодательным собранием Ленинградской области 9 августа 2006 г.). URL: <http://www.garant.ru/hotlaw/peter/146574/> (дата обращения: 13.02.2012).

Игнатьев В. И., Рамушева О. В., Егорова И. В. и др. Аналитический обзор состояния недр территории Северо-Западного федерального округа Российской Федерации за период 2010–2014 гг. Вып. 2. СПб, 2015. 335 с. URL: <http://sevzapnedra.nw.ru/> (дата обращения: 17.02.2016).

Кармазинов Ф. В. Водоснабжение Санкт-Петербурга. СПб.: Новый журнал, 2003. 670 с.

Схема территориального планирования Всеволожского муниципального района Ленинградской области. URL: http://www.vsevreg.ru/city/grad/departament_of_architecture_and_urban_planning/

[scheme_of_territorial_planning/](#) (дата обращения: 20.10.2015).

Токарев И. В., Шварц А. А., Боровицкая Е. Ю. Экологические проблемы эксплуатации подземных вод Карельского перешейка // Вестник СПбГУ. Серия 7 «Геология и география». 2013. № 2. С. 21–31.

Ферронский В. И., Поляков В. А. Изотопия гидросферы Земли. М.: Научный мир, 2009. 632 с.

Широкова Е. К., Рошаль А. А. Отчет по оценке региональных эксплуатационных запасов подземных вод Ленинградского артезианского бассейна за 1972–1981 гг. ГП ПКГЭ, СПб., 1982. ФБУ «ТФГИ по СЗФО», № 24357.

Climate and climate-related issues for the safety assessment SR-Site. Svensk Kärnbränslehantering AB. Technical Report TR-10–49. Stockholm. 2010. 328 p.

Dansgaard W. Stable isotopes in precipitation // Tellus. 1964. Vol. 16, no. 4. P. 436–463.

Kortelainen N. Isotopic composition of atmospheric precipitation and shallow groundwater in Oikiluoto: O-18, H-2 and H-3. Geological Survey of Finland and POSIVA OY. Oikiluoto-Eurajoki, Finland, 2009. 23 p.

Raidla V., Kirsimäe K., Vaikmäe R. et al. Geochemical evolution of groundwater in the Cambrian-Vendian aquifer system of the Baltic Basin // Chemical Geology. 2009. Vol. 258. P. 219–231.

Поступила в редакцию 04.03.2016

References

Baskova I. V., Voronjuk G. Ju. Otchjot o vypolnenii rabot po ob'ektu “Gidrogeologicheskoe doizuchenie masshtaba 1:200 000 lista R-35-XXXVI (Severo-Peterburgskaja ploshhad’).” ОАО “PKGJe” [Report on the implementation of the project “Hydrological survey of scale 1:200 000, sheet R-35-XXXVI (North St. Petersburg). JSC “St. Petersburg complex geological expedition”]. St. Petersburg, 2013. FBU “TFGI po SZFO”, № 28319.

Ferronskij V. I., Poljakov V. A. Izotopija gidrosfery Zemli [Isotopes of the Earth hydrosphere]. Moscow: Nauchnyj mir, 2009. 632 p.

Gudzenko V. V., Dubinchuk V. T. Izotopy radija i radon v prirodnyh vodah [Radium and radon isotopes in natural waters]. Moscow: Nauka, 1987. 159 p.

Ignat'ev V. I., Ramusheva O. V., Egorova I. V., Dmitrieva I. A., Kolodina E. A. Analiticheskij obzor sostojanija neдр territorii Severo-Zapadnogo federal'nogo okruga Rossijskoj Federacii za period 2010–2014 gg. [Analytical review of the status of subsoils on the territory of the North-West Federal District of the Russian Federation for the years 2010–2014]. Iss. 2. St. Petersburg, 2015. 335 p. URL: <http://sevzapnedra.nw.ru/> (accessed: 17.02.2016).

Karmazinov F. V. Vodospabzhenie Sankt-Petersburga [Water supply of Saint Petersburg]. St. Petersburg: Novyj zhurnal, 2003. 670 p.

Shirokova E. K., Roshal' A. A. Otchet po ocenke regional'nyh jekspluatacionnyh zasasov podzemnyh vod Leningradskogo artezianskogo bassejna za 1972–1981 gg. GP PKGJe [The evaluation of the regional

usable groundwater resources of the Leningrad artesian basin for the years 1972–1981. SOE “St. Petersburg complex geological expedition”]. St. Petersburg, 1982. FBU “TFGI po SZFO”, № 24357.

Tokarev I. V., Shvarc A. A., Borovickaja E. Ju. Jekologicheskie problemy jekspluatatsii podzemnyh vod Karel'skogo pereshejka [Ecological problems of groundwater operation on Karelian Isthmus]. Vestnik SPbGU. Serija 7 “Geologija i geografija” [Vestnik of St. Petersburg State University. Ser. 7. Geology, Geography]. 2013. No. 2. P. 21–31.

Zakon Leningradskoj oblasti ot 6 Sent. 2006 g. N 106-oz “O regional'noj celevoj programme “Obespechenie naselenija Leningradskoj oblasti pit'evoj vodoj v 2007–2010 godah” (Prinjat Zakonodatel'nym sobranieм Leningradskoj oblasti 9 August 2006 g.) [Law of the Leningrad region, Sept. 6, 2006. N 106-oz “On the regional target program “ensuring the supply of drinking water to the population of the Leningrad Region in 2007–2010” (Adopted by the Legislative Assembly of the Leningrad Region on Aug. 9, 2006)]. URL: <http://www.garant.ru/hotlaw/peter/146574/> (accessed: 13.02.2012).

Climate and climate-related issues for the safety assessment SR-Site. Svensk Kärnbränslehantering AB. Technical Report TR-10–49. Stockholm. 2010. 328 p.

Dansgaard W. Stable isotopes in precipitation. Tellus. 1964. Vol. 16, no. 4. P. 436–463.

Kortelainen N. Isotopic composition of atmospheric precipitation and shallow groundwater in Oikiluoto:

O-18, H-2 and H-3. Geological Survey of Finland and POSIVA OY. Olkiluoto-Eurajoki, Finland, 2009. 23 p.

Raidla V., Kirsimäe K., Vaikmäe R., Jõelet A., Karro E., Marandi A., Savitskaja L. Geochemical evolution of groundwater in the Cambrian-Vendian aquifer system

of the Baltic Basin. *Chemical Geology*. 2009. Vol. 258. P. 219–231.

Received March 04, 2016

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Воронюк Григорий Юрьевич

начальник партии региональных гидрогеологических работ
АО «Петербургская комплексная
геологическая экспедиция»
аспирант ФГБУ «ВСЕГЕИ»
ул. Одоевского, 24, корп. 1, Санкт-Петербург, Россия,
199155
эл. почта: grigory.voronuk@yandex.ru
тел.: +79215571480

Бородулина Галина Сергеевна

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

Крайнюкова Ирина Александровна

инженер, аспирант
Научный парк Санкт-Петербургского
государственного университета
ул. Ульяновская, 1, Петергоф, Санкт-Петербург,
Россия, 198504
эл. почта: i.a.avramenko@gmail.com
тел.: +79119932848

Токарев Игорь Владимирович

ведущий специалист, к. г.-м. н.
Научный парк Санкт-Петербургского
государственного университета
ул. Ульяновская, 1, Петергоф, Санкт-Петербург,
Россия, 198504
эл. почта: tokarevigor@gmail.com
тел.: +79215721238

CONTRIBUTORS:

Voroniuk, Grigory

JSC "Petersburg Complex Geological Expedition"
24–1 Odoevsky St., 199155 St. Petersburg, Russia
e-mail: grigory.voronuk@yandex.ru
tel.: +79215571480

Borodulina, Galina

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

Krainyukova, Irina

St. Petersburg State University Research Park
1 Ul'yanovskaya St., 198504 Petergof, St. Petersburg, Russia
e-mail: i.a.avramenko@gmail.com
tel.: +79119932848

Tokarev, Igor

St. Petersburg State University Research Park
1 Ul'yanovskaya St., 198504 Petergof, St. Petersburg, Russia
e-mail: tokarevigor@gmail.com
tel.: +79215721238