



Научная статья

Анализ проблем добычи качественной питьевой воды из подземных водозаборов на о-ве Высоцкий в Выборгском районе Ленинградской области

В.В.НИКИШИН¹, П.А.БЛИНОВ¹✉, В.В.ФЕДОРОВ², Е.К.НИКИШИНА³, И.В.ТОКАРЕВ⁴

¹ Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

² ООО «СПЕЦ-ТРАНС», Высоцк, Россия

³ ООО «Эко-Эксперт», Санкт-Петербург, Россия

⁴ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

Как цитировать эту статью: Никишин В.В., Блинов П.А., Федоров В.В., Никишина Е.К., Токарев И.В. Анализ проблем добычи качественной питьевой воды из подземных водозаборов на о-ве Высоцкий в Выборгском районе Ленинградской области // Записки Горного института. 2023. Т. 000. С. 1-12. EDN ZGVJSR

Аннотация. Приведены результаты буровых, опытно-фильтрационных работ и лабораторных исследований, направленных на оценку ресурсов и качества подземных вод на лицензионном участке о-ва Высоцкий (Финский залив) в соответствии с требованиями нормативных документов. Анализ результатов гидрохимических исследований и сопоставление их с данными по водозаборам на прилегающих участках позволяет сделать вывод о возможности отнесения гидрогеологического подразделения к иному типу формирования ресурсов, нежели используемые поблизости. Подземные воды на данном участке приурочены к неизученной глубинной трещиноватой региональной высоконапорной зоне. Разведанный водозабор может быть отнесен к уникальному месторождению подземных вод, обладающему нехарактерным составом подземных вод севера Ленинградской обл., что может быть обусловлено смешением современных осадков и реликтовых вод Балтийского ледникового озера. Стабильность характеристик подземных вод подтверждается долговременным мониторингом.

Ключевые слова: качество подземных вод; бурение скважин; опытно-фильтрационные исследования; Балтийское ледниковое озеро; архейско-протерозойская водоносная зона

Поступила: 27.06.2022

Принята: 20.06.2023

Онлайн: 06.10.2023

Введение. Проблема получения качественной питьевой воды для целей хозяйствственно-питьевого водоснабжения населения и предприятий, соответствующей всем санитарно-эпидемиологическим нормам и требованиям, на территории Выборгского района Ленинградской обл. весьма актуальна [1-7]. Это обусловлено не только гидрогеологическими и гидрохимическими особенностями района, но и ошибками, допускаемыми буровыми организациями при сооружении водозаборных скважин и их вводе в эксплуатацию [8-13]. Низкое качество бурения скважин отмечается давно и вызвано в первую очередь рыночной экономикой, когда основным критерием является снижение стоимости работ, а не правильность сооружения скважины. Наиболее характерным недостатком конструкций является отсутствие цементации затрубного пространства эксплуатационной колонны, что предусмотрено требованиями СанПиН 2.1.4.1110-02 «Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения». Отсутствие цементажа делает невозможной изоляцию эксплуатируемого водоносного горизонта от загрязнения за счет перетока из вышележащих горизонтов и с дневной поверхности, а также существенно снижает срок эксплуатации скважины [14-17]. Дополнительные сложности обусловлены повышенным природным содержанием железа в воде, что является гидрохимической особенностью района (рис.1) [1, 15].

Подземные воды на о-ве Высоцкий приурочены к трещиноватой водоносной зоне архейско-протерозойских кристаллических пород и четвертичным отложениям. На периферии острова водозаборные сооружения представлены скважинами и шахтными колодцами глубиной 10-20 м,

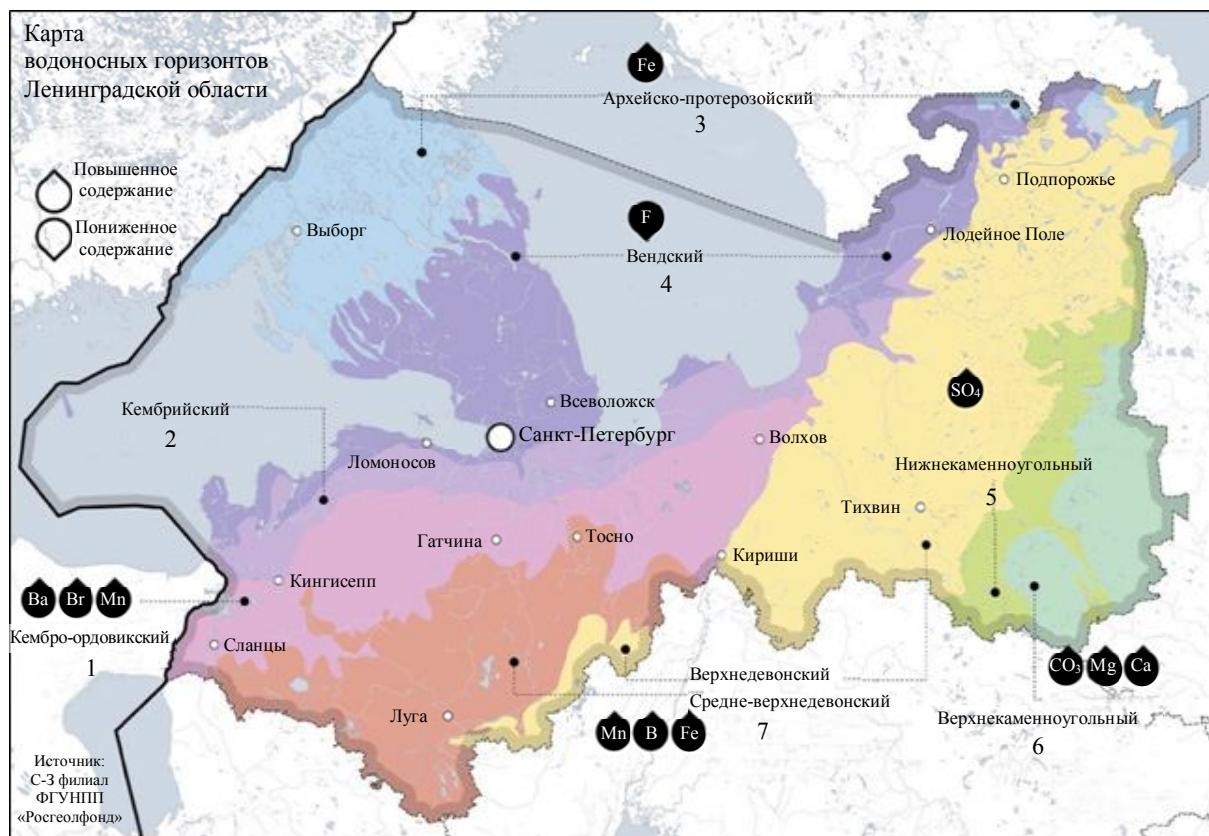


Рис.1. Карта водоносных горизонтов Ленинградской обл. [15]

1 – повышенное природное содержание брома, бария и марганца; 2 – запасы ограничены, из-за низкой водообильности малоперспективен; 3 – постоянное превышение содержания железа; 4 – в водах большинства водозаборов отмечается низкое содержание фтора; 5 – подземные воды напорные, умеренно жесткие, на юге территории в низах комплекса воды с повышенным содержанием сульфатов, на востоке минерализация достигает $13,9 \text{ г/дм}^3$; 6 – подземные воды преимущественно слабонапорные, по химическому составу гидрокарбонатные магниево-кальциевые, умеренно жесткие; 7 – повсеместное превышение содержания железа, в водах девона зафиксировано повышенное природное содержание бора и марганца

эксплуатирующими четвертичные горизонты, а в центральной части – водозаборными скважинами глубиной 70-150 м, оборудованными для отбора воды из трещиноватых зон в кристаллических породах. В табл.1 приведены данные о существующих водозаборных сооружениях на о-ве Высоцкий, имеющих лицензию на добычу подземных вод.

Таблица 1

Основные характеристики существующих водозаборов в районе о-ва Высоцкий

Водопользователь	Лицензионный водоотбор, $\text{м}^3/\text{сут}$	Водоносное подразделение	Интервал опробования, м	Глубина скважины, м	Год бурения	Номер лицензии
РПК-Высоцк № 3, 4 – действующие № 1, 2 – резервные	105	AR-PR ₁	9-14, 30-45	50	2003	02268 ВЭ
ОАО «РЖД», ж/д ст. Высоцк № 5/27 – действующая № 2 – резервная	87	AR-R ₁ + f,IgIIos	11-20	20	1992	02308 ВЭ
Лесопильно-деревообрабатывающее предприятие ООО «Петротранс» № 1 – действующая № 2 – резервная	2,75	AR-PR ₁	10-20, 70-110	150	1995	2484 ВЭ
ООО «Порт-Высоцк» № 1 – действующая № 2 – резервная	35,0-40,9	AR-PR ₁	–	72, 90	2008	02674 ВП

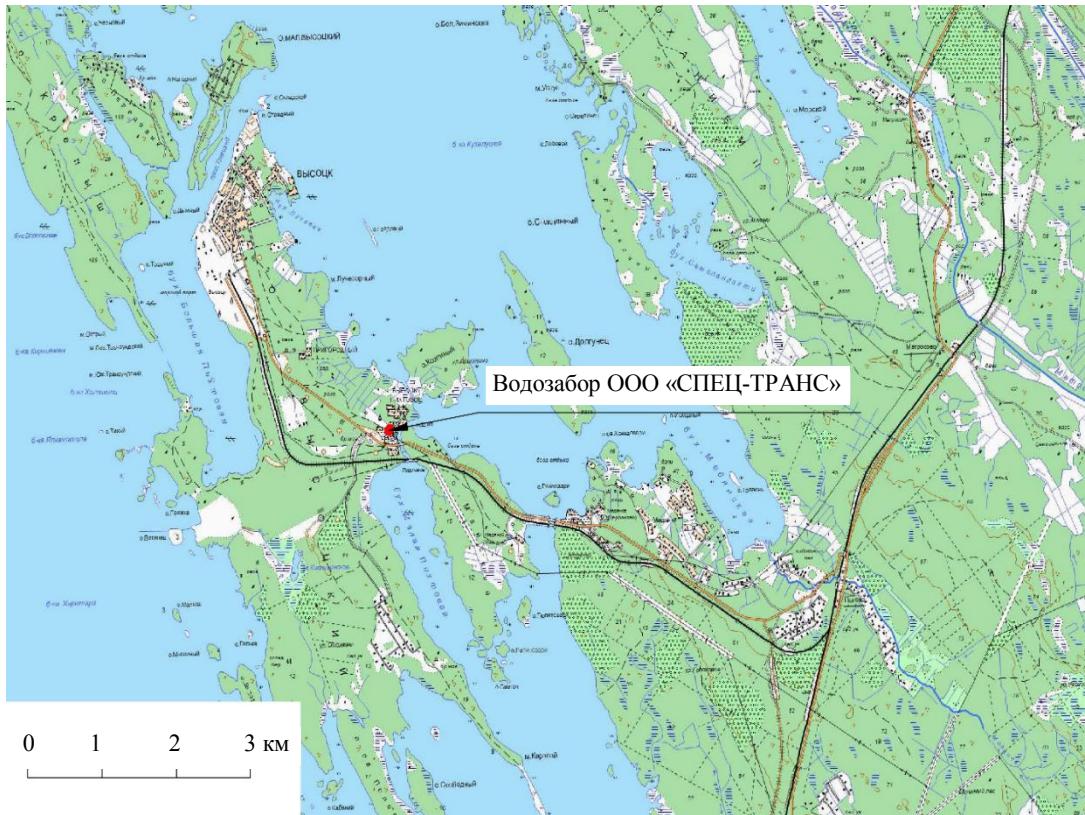


Рис.2. План расположения водозабора ООО «СПЕЦ-ТРАНС»

Подземные воды, смешанные по химическому составу: гидрокарбонатные; сульфатно-гидрокарбонатные; хлоридно-гидрокарбонатные; сульфатные кальциево-натриевые. Минерализация изменяется от 115 до 670 мг/л, составляя в среднем 280 мг/л. По основным компонентам состав воды на приведенных водозаборах соответствует нормативам (СанПиН 2.1.3684-21), кроме железа 1,34-13,3 мг/л (ПДК 0,3 мг/л), марганца до 0,41 мг/л (ПДК 0,1 мг/л), окисляемости до 39 мгО₂/дм³ (ПДК 5 мгО₂/дм³), иногда фтора до 3,1 мг/л (ПДК 1,5 мг/л), повышенное содержание радона в некоторых скважинах до 573,5 Бк/л (УВ_{вода} 60 Бк/л) [3].

Методы. На подобных территориях рекомендуется ориентировать работы на поиск переуглубленных долин и (или) зон повышенной трещиноватости в кристаллических породах [18, 19]. Для четвертичных отложений в качестве основных рекомендуется выбирать водоносные горизонты, приуроченные к флювиогляциальным и морским отложениям [20, 21]. В ходе анализа фоновых материалов выявлен тот факт, что общепринятая поисковая методика в данных условиях не дает полноценного результата. В качестве примера, позволяющего решить проблему качества питьевой воды, рассмотрим водозабор, принадлежащий ООО «СПЕЦ-ТРАНС» и расположенный в восточной части о-ва Высоцкий. Расположение водозабора ООО «СПЕЦ-ТРАНС» показано на рис.2, а на рис.3 приведена гидрогеологическая карта о-ва Высоцкий с разрезом.

В 2018 г. на территории водозабора ООО «СПЕЦ-ТРАНС» пробурены две скважины (1 и 2), вскрывшие зону повышенной трещиноватости в архейско-протерозойских гранитах. Верхняя часть скважин закреплена обсадными трубами с затрубной цементацией, а от низа обсадной колонны до забоя скважины оставлен открытый ствол [22]. Специалистами ООО «Эко-Эксперт» проведены поочередно две кустовые откачки из скв.1 и 2. В качестве водоподъемного оборудования использовались совместно погружной насос ДЖИЛЕКС Водомет 110/110 и мотопомпа DDE PTR80. Расход измерялся с помощью водомета Гроен DRC Ду-50; уровень воды измерялся с помощью датчика гидростатического давления со встроенным самописцем Solinst Levelogger M20, контрольные промеры проводились при помощи электроуровнемера. Скважины дали значительный для данного района дебит (табл.2).

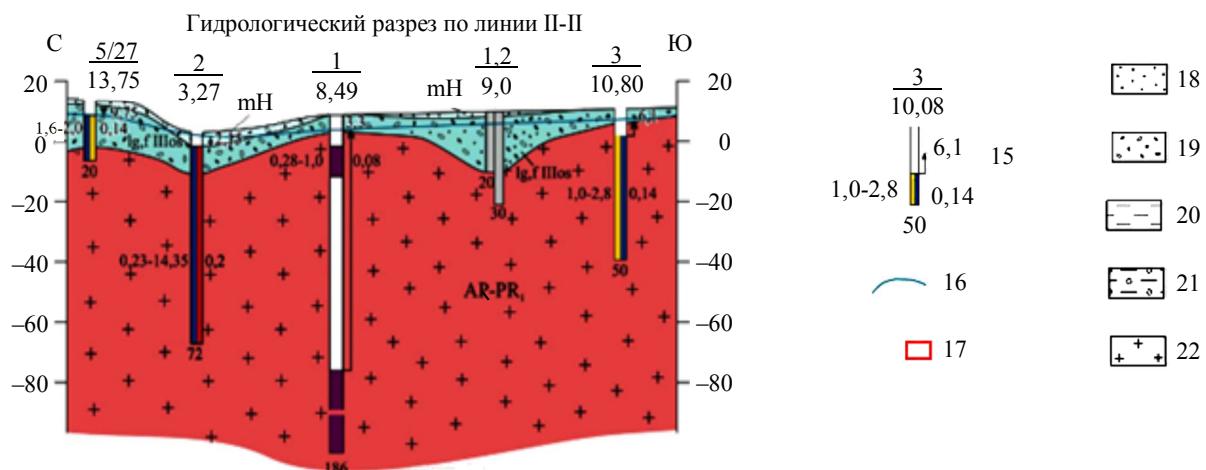
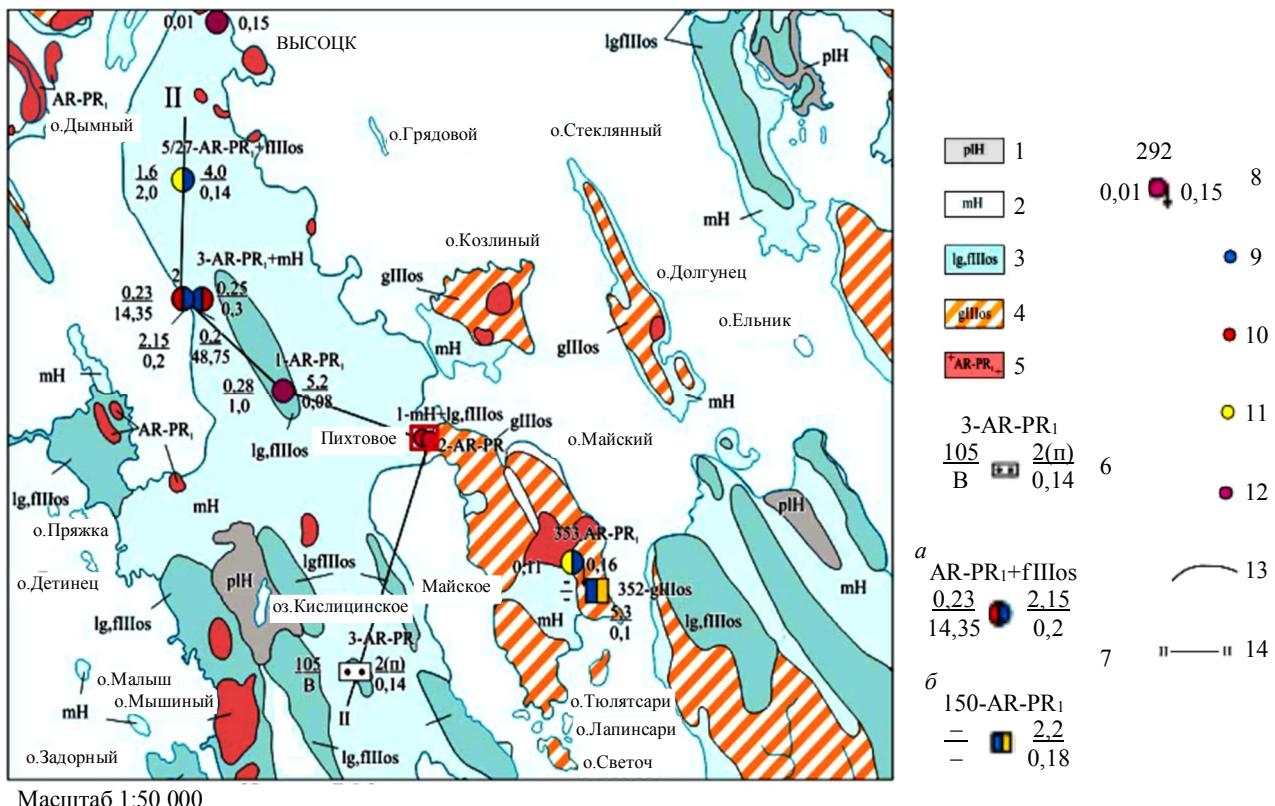


Рис.3. Гидрогеологическая карта о-ва Высоцкий с разрезом [15]

1 – современный болотный водоносный горизонт (торф); 2 – современный морской водоносный горизонт (пески, супеси, реже суглинки со слоистостью ленточного типа); 3 – Осташковский озерно-ледниковый и флювиогляциальный водоносный горизонт (пески разнозернистые, крупнозернистые, реже супеси с гравием и галькой); 4 – Осташковский мореный относительно-водоупорный горизонт (пески глинистые, пылеватые с гравием, галькой и валунами, иногда супеси валунные); 5 – водоносная зона трещиноватости архейско-протерозойских пород (граниты, гнейсы); 6 – водозабор (вверху – номер по карте и индекс водоносного подразделения; слева в числителе – запасы (м³/сут), в знаменателе – минерализация (г/л); справа – количество скважин в водозаборе, в скобках – индекс типа воды по ее использованию); 7 – вверху – номер по карте и индекс водоносного подразделения; слева в числителе – дебит (л/с), в знаменателе – понижение; справа в числителе – глубина установившегося уровня (м), в знаменателе – минерализация воды (г/л); закраска соответствует химическому составу подземных вод (а – скважина, б – колодец); 8 – нисходящий родник (вверху – номер, слева – дебит, справа – минерализация); 9-12 – химический тип воды: 9 – гидрокарбонатный, 10 – хлоридный, 11 – сульфатный, 12 – смешанный; 13 – границы гидрогеологических подразделений; 14 – линия геолого-гидрогеологического разреза; 15 – на разрезах – скважина (вверху: числитель – паспортный номер скважины, знаменатель – абсолютная отметка устья (м), стрелка соответствует напору подземных вод, цифра у стрелки – абсолютная отметка уровня (м), слева от интервала опробования: дебит (л/с) – понижение (м), справа – минерализация (г/л); 16 – уровень подземных вод; 17 – участок проведения работ; 18-22 – литологические обозначения: 18 – пески, 19 – гравийно-галечные (галечно-валунные) отложения, 20 – суглинки, глины, 21 – суглинки валунные, супеси, 22 – граниты



Таблица 2

Основные сведения об опытных откачках

Номер скв.	Продолжительность откачки/восстановления, ч	Средний дебит откачки, л/с	Глубина залегания статического уровня, м	Максимальное понижение, м
1	15,5	2,66	2,23	0,93
	3,8			
2	7,0	2,59	2,28	1,59
	3,0			

Пробы подземных вод в соответствии с «Рабочей программой контроля качества питьевой воды», утвержденной ТУ Роспотребнадзора в ЛО, исследовались в аккредитованных испытательных лабораториях для определения их соответствия установленным требованиям: СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности» (НРБ-99/2009), СанПиН 2.6.1.2800-10 «Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения» и МУ 2.6.1.1981-05 (с изменением № 1 МУ 2.6.1.2719-10), «Радиационный контроль и гигиеническая оценка источников питьевого водоснабжения и питьевой воды по показателям радиационной безопасности», СанПиН 2.1.3684-21, СанПиН 2.1.3685-21 и ТР ЕАЭС 044/2017.

Изотопный состав подземных вод (содержания дейтерия ${}^2\text{H}$ и кислорода-18 ${}^{18}\text{O}$) определен в Научном парке СПбГУ, результаты приведены в промилле относительно стандарта SMOW. Погрешность измерений составляет $\pm 0,1\%$ для ${}^{18}\text{O}$ и $\pm 1\%$ для ${}^2\text{H}$.

Результаты и обсуждение. Опытно-фильтрационное опробование. Основные сведения о ходе откачек приведены в табл.2. Индикаторные графики откачек и восстановления уровней представлены на рис.4.

Результаты интерпретации фильтрационных опытов приведены в табл.3.

Гидравлические параметры, рассчитанные по графикам понижения, искажены вследствие значительной неравномерности дебита откачек. При этом, ввиду высокой пьезопроводности, колебания уровня в возмущающей скважине в значительной мере отражаются на наблюдательной скважине.

Расчет параметров, наиболее достоверно характеризующих свойства среды, выполнен по восстановлению уровней. При откачке из скв.1 восстановление уровня в ней после остановки насосов произошло практически мгновенно, поэтому обрабатывался только график по скв.2. После откачки из скв.2 уровень в ней в первую минуту восстановился более чем на 80 %, что свидетельствует о влиянии скин-эффекта. Данный график обработан в двух вариантах с использованием решений Тейса и Менча. В обоих вариантах получен коэффициент водопроводимости $940 \text{ м}^2/\text{сут}$, но решение Менча дало более реальную величину пьезопроводности порядка $10^6 \text{ м}^2/\text{сут}$. Таким образом, исходя из результатов опытов, водопроводимость опробуемой архейско-протерозойской водоносной зоны находится в пределах $940\text{--}980 \text{ м}^2/\text{сут}$, а пьезопроводность $(1,2\text{--}2,3) \cdot 10^6 \text{ м}^2/\text{сут}$. Для оценки запасов подземных вод рассматриваемого участка недр в качестве расчетных значений фильтрационных параметров следует принять наиболее неблагоприятные: водопроводимость $940 \text{ м}^2/\text{сут}$, пьезопроводность $2,3 \cdot 10^6 \text{ м}^2/\text{сут}$, упругая водоотдача ($\mu^* = T / a^*$) $-4,1 \cdot 10^{-4}$. Полученное значение упругой водоотдачи хорошо согласуется с характерной для трещиноватых пород упругоемкостью порядка 10^{-5} м^{-1} при мощности трещиноватой зоны архейско-протерозойских пород порядка первых десятков.

Определение удельного дебита скважин затруднено непостоянством работы водоподъемного оборудования. Однако стабилизация уровней в конце откачек в течение длительного времени позволяет ориентировочно оценить этот параметр:

- для скв.1 удельный дебит равен $3,9 \text{ л/с}\cdot\text{м}$, при понижении $0,74 \text{ м}$ и среднем дебите откачки $250 \text{ м}^3/\text{сут}$ ($2,89 \text{ л/с}$);
- для скв.2 удельный дебит равен $2,17 \text{ л/с}\cdot\text{м}$, при понижении $1,2 \text{ м}$ и среднем дебите откачки $225 \text{ м}^3/\text{сут}$ ($2,6 \text{ л/с}$).

Можно предположить, что после бурения дополнительных скважин водозабор будет способен обеспечить дебит подземных вод в объеме до $15000 \text{ м}^3/\text{сут}$.

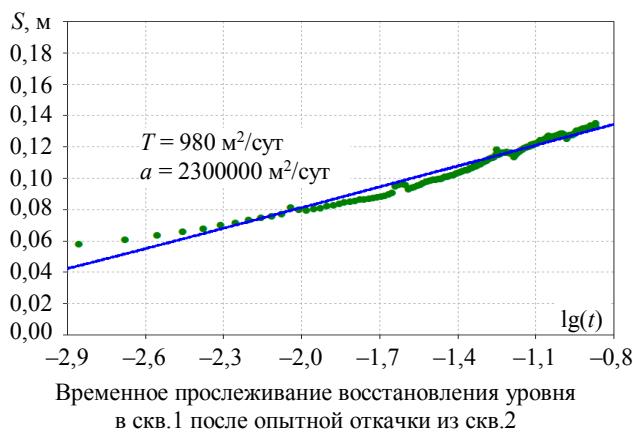
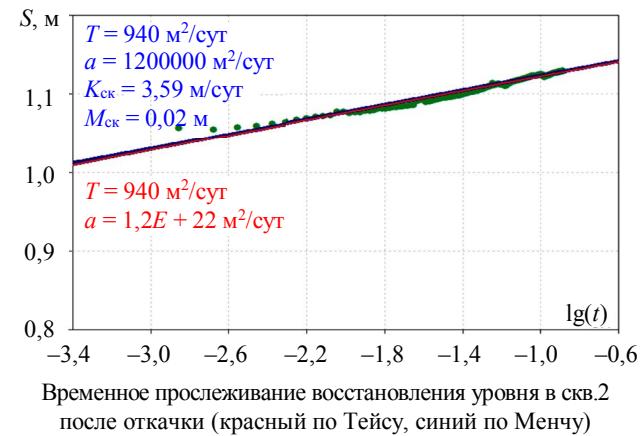
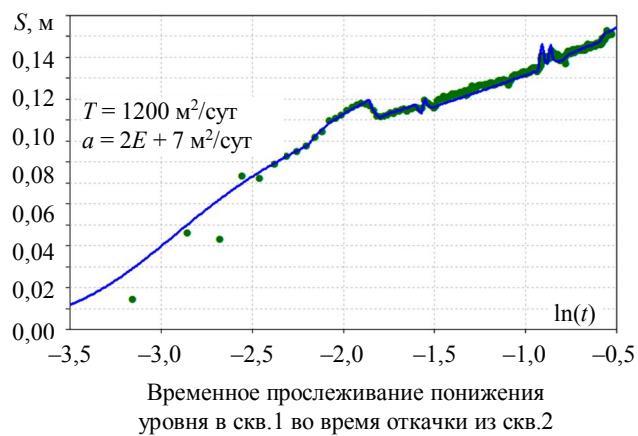
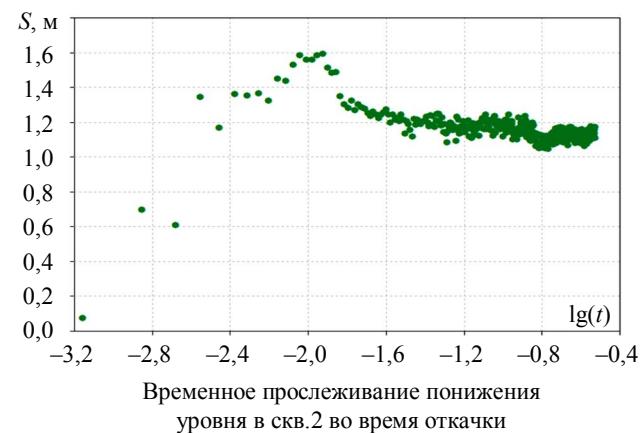
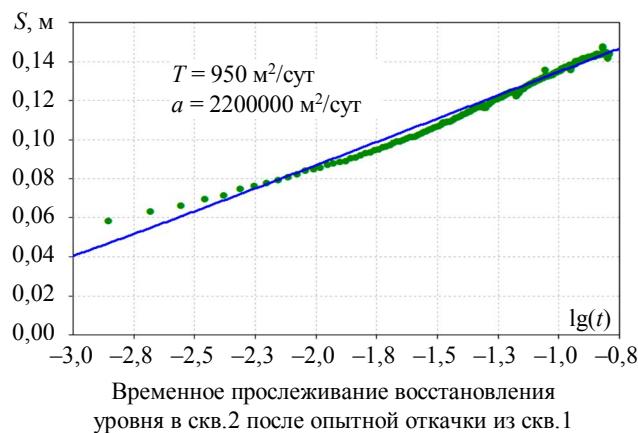
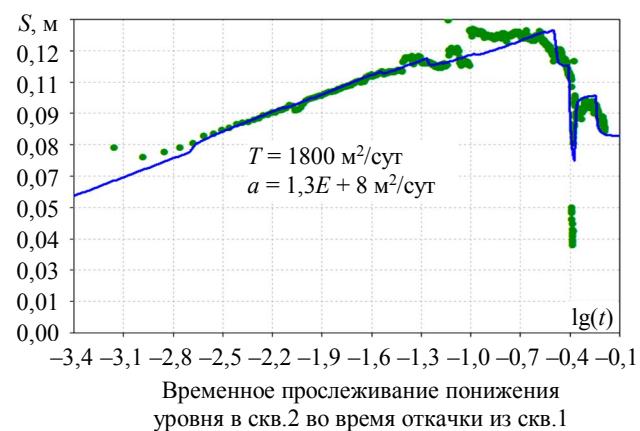
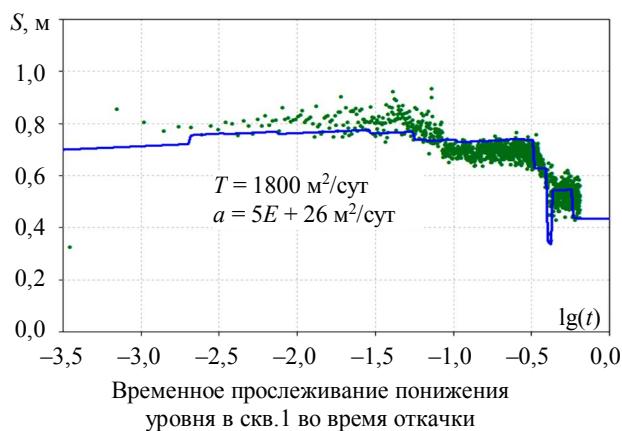


Рис.4. Индикаторные графики откачек и восстановления уровней в скв.1 и 2

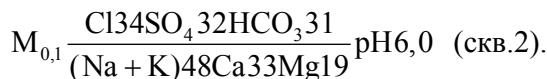
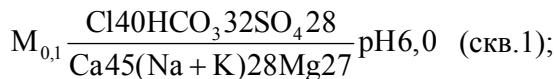


Таблица 3

Результаты интерпретации фильтрационных опытов

Номер центральной скважины	Наименование опыта	Номер наблюдательной скважины	Водопроводимость T , $\text{м}^2/\text{сут}$	Пьезопроводность a^* , $\text{м}^2/\text{сут}$
1	Откачка	1	—	—
		2	1800	$1,3 \cdot 10^8$
	Восстановление	1	—	—
		2	950	$2,2 \cdot 10^6$
2	Откачка	1	1200	$2 \cdot 10^7$
		2	—	—
	Восстановление	1	980	$2,3 \cdot 10^6$
		2	940/940	$1,2 \cdot 10^{22}/1,2 \cdot 10^6$

Гидрохимическое опробование. Качественный состав воды трещиноватых архейско-протерозойских кристаллических пород характеризуется как сульфатно-гидрокарбонатно-хлоридные смешанного катионного состава с минерализацией 105-132 мг/л (в среднем 121 мг/л) и типичной формулой



Воды близки к ультрапресным, слабокислые с pH 6,0-6,8 (в среднем 6,2); мягкие – общая жесткость 1,4-2,3 мг-экв/л (в среднем 1,8 мг-экв/л). Среднее содержание гидрокарбонатов – 28,3 мг/л, сульфатов – 16 мг/л, хлоридов – 19,5 мг/л, натрия + калия – 14,4 мг/л, кальция – 13,7 мг/л, магния – 4,8 мг/л, нитратов – 6 мг/л, аммония < 0,001 мг/л. Компоненты, свидетельствующие об антропогенном загрязнении: NO₂, NO₃, NH₄, PO₄, Al, Pb, нефтепродукты и фенолы содержатся в минимальных концентрациях или отсутствуют.

Результаты развернутого радиологического анализа показали соответствие значений активности альфа- и бета-излучающих радионуклидов санитарным нормам, установленным требованиям: СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности» (НРБ-99/2009), СанПиН 2.6.1.2800-10 «Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения» и МУ 2.6.1.1981-05 (с изменением № 1 МУ 2.6.1.2719-10), «Радиационный контроль и гигиеническая оценка источников питьевого водоснабжения и питьевой воды по показателям радиационной безопасности». По микробиологическим и вирусологическим характеристикам вода горизонта здоровая.

Подземные воды полностью удовлетворяют требованиям СанПиН 2.1.3684-21, СанПиН 2.1.3685-21, СанПиН 2.6.1.2523-09 (НРБ-99/2009) и ТР ЕАЭС 044/2017 (табл.4).

Таблица 4

Результаты анализа подземных вод

Показатель	Скв.2 min-max	Скв.1 min-max	Требования по СанПиН 2.1.3684-21	Требования по ТР ЕАЭС 044/2017
Органолептические свойства				
Запах, баллы	0	0	2	0-1
Цветность, град	1,2-2,6	1,5-5,0	20	< 5,0
Мутность, мг/дм ³	0,5-0,6	0,58-0,67	2,6	1,0

Продолжение табл.4

Показатель	Скв.2 min-max	Скв.1 min-max	Требования по СанПиН 2.1.3684-21	Требования по ТР ЕАЭС 044/2017
Привкус, баллы	0	0	0	0
Обобщенные показатели				
Водородный показатель pH	6,0-6,8	6,0-6,8	6,0-9,0	4,5-9,5
Жесткость общая, мг-экв/дм ³	0,55-1,9	0,6-2,3	7,0	7,0
Окисляемость перманганатная, мгО ₂ /дм ³	1,0-2,0	1,1-2,1	5,0	3,0
Нефтепродукты, мг/дм ³	< 0,005	< 0,005	0,1	0,05
Фенольный индекс, мг/дм ³	< 0,005	< 0,005	0,25	—
СПАВ (анионные), мг/дм ³	0,01-0,025	0,01-0,025	0,5	0,05
Фенолы летучие, мкг/дм ³	< 0,0005	< 0,0005	0,1	0,5
Компоненты общего химического состава				
Сухой остаток, мг/дм ³	108,0-150,0	105,1-140,0	1000	< 1000
Железо общее, мг/дм ³	0,04-0,14	0,05-0,15	0,3	0,3
Нитраты, мг/дм ³	0,1-2,8	0,1-2,8	45	20
Нитриты, мг/дм ³	< 0,003	< 0,003	3,3	0,5
Сульфаты, мг/дм ³	20,0-40,0	20,0-40,0	500	250
Хлориды, мг/дм ³	18,4-28,0	21,1-31,0	350	250
Цианиды, мг/дм ³	< 0,01	< 0,01	0,07	0,035
Кальций, мг/дм ³	9,7-27,0	13,7-17,0	Не нормируется	Не нормируется
Магний, мг/дм ³	3,8-4,9	4,8-12,8	50	Не нормируется
Натрий, мг/дм ³	9,2-12,2	9,1-13,0	200	200
Калий, мг/дм ³	4,6-5,3	4,6-5,3	Не нормируется	—
Фосфаты, мг/дм ³	< 0,05	< 0,05	3,5	3,5
Неорганические вещества				
Молибден, мг/дм ³	< 0,025	< 0,025	0,25	0,07
Барий, мг/дм ³	< 0,024	< 0,024	0,1	0,7
Бериллий, мг/дм ³	< 0,0001	< 0,0001	0,0002	—
Медь, мг/дм ³	0,001-0,003	0,001-0,004	1,0	1,0
Кадмий, мг/дм ³	< 0,001	< 0,001	0,001	0,001
Алюминий, мг/дм ³	< 0,055	< 0,04	0,2	0,2
Марганец, мг/дм ³	0,005-0,046	0,007-0,01	0,1	0,05
Мышьяк, мг/дм ³	< 0,005	< 0,005	0,01	0,01
Цинк, мг/дм ³	< 0,0102	< 0,091	1	5
Бор, мг/дм ³	< 0,05	< 0,05	0,5	1
Свинец, мг/дм ³	< 0,002	< 0,002	0,01	0,01
Никель, мг/дм ³	< 0,0075	< 0,067	< 0,1	0,02
Ртуть, мг/дм ³	< 0,0001	< 0,0001	0,0005	0,0005
Стронций, мг/дм ³	< 0,1	< 0,1	7	7
Фториды, мг/дм ³	0,12-1,2	0,11-1,4	1,5	1,5
Селен, мг/дм ³	< 0,005	< 0,005	0,01	0,01
Титан, мг/дм ³	< 0,001	< 0,001	0,1	—
Хром, мг/дм ³	< 0,001	< 0,005	0,05	—
Цианиды, мг/дм ³	< 0,005	< 0,01	0,07	0,035
Органические вещества				
Гамма-ГХЦГ (линдан)	< 0,00001	< 0,00001	0,002	0,5
ДДТ (сумма изомеров)	< 0,00001	< 0,00001	0,002	0,5
2,4-Д, мкг/дм ³	< 0,0002	< 0,03	0,03	1,0
Аммиак и аммоний-ион	< 0,1	< 0,1	1,5	0,1



Окончание табл.4

Показатель	Скв.2 min-max	Скв.1 min-max	Требования по СанПиН 2.1.3684-21	Требования по ТР ЕАЭС 044/2017
Микробиологические свойства				
Общие колiformные бактерии (ОКБ), КОЕ/100 мл	н.о.	н.о.	Не допускается	–
Термотолерантные колiformные бактерии (ТКБ), КОЕ/100 мл	н.о.	н.о.	Не допускается	–
Общее микробное число (ОМЧ), КОЕ/мл	0,0-3,0	0,0-2,0	< 50	20-100
Колифаги, БОЕ/100 мл	н.о.	н.о.	Не допускается	–
Энтерококки, КОЕ/100 мл	н.о.	н.о.	Не допускается	–
<i>E.coli</i> , в 100 см ³	н.о.	н.о.	Не допускается	–
Радиационные показатели				
Суммарная объемная активность альфа-излучающих радионуклидов, Бк/л	0,02-0,08	< 0,08	0,2	0,2
Суммарная объемная активность бета-излучающих радионуклидов, Бк/л	0,14-0,32	0,2-0,32	1	1
Радон-222	7,0-31,0	7,00-8,00	60	–
Вирусологические показатели				
РНК ротавирусов группы А	н.о.	н.о.	Не допускается	
РНК норовирусов 2-го генотипа	н.о.	н.о.	Не допускается	
РНК астровирусов	н.о.	н.о.	Не допускается	
РНК энтеровирусов	н.о.	н.о.	Не допускается	
Вирус гепатита А	н.о.	н.о.	Не допускается	

Примечание. н.о. – не обнаружены.

Результаты химического анализа подземных вод, отобранных на водозаборе ООО «СПЕЦ-ТРАНС» при сопоставлении их с данными по подземным водам других водозаборов на о-ве Высоцкий или в прилегающих районах, указывают, что на лицензионном участке условия формирования ресурсов по своему характеру отличаются от площадей, расположенных поблизости. Подземные воды на участке не имеют превышений ПДК по железу, марганцу, фтору, перманганатной окисляемости и радиологическим показателям, в то время как для других водозаборов о-ва Высоцкий характерны значения содержаний железа 1,34-13,3 мг/л (ПДК 0,3 мг/л), марганца до 0,41 мг/л (ПДК 0,1 мг/л), показателя окисляемости до 39 мгО₂/дм³ (ПДК 5 мгО₂/дм³) и активности радона до 573,5 Бк/л (УВвода 60 Бк/л). По своему составу подземные воды скважин ООО «СПЕЦ-ТРАНС» аналогичны водам, каптируемым родником «Домик лесника», расположенным в 4,5 км к северо-востоку от г. Выборг по трассе Выборг – Светогорск.

В конце 2019 г. на территории водозабора проведена георадиолокационная съемка методом непрерывного сканирования на центральной частоте зондирующих электромагнитных импульсов 50 МГц с антенным блоком АБДЛ «Тритон» [23-25]. Полученные результаты позволили выявить интенсивные интервалы нарушенных скальных пород и наметить зоны, перспективные для дальнейшего бурения эксплуатационных скважин (рис.5).

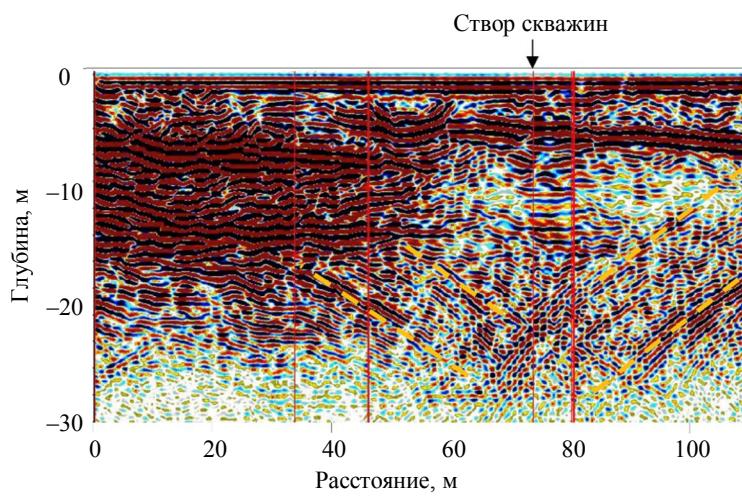


Рис.5. Георадиолокационный разрез водозабора вкрест размещения скв.1 и 2 на середине расстояния между ними

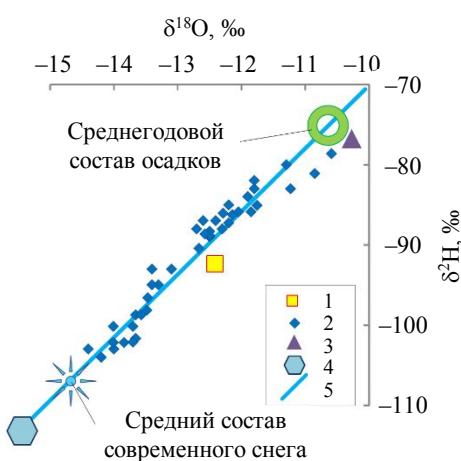


Рис.6. Изотопный состав подземных вод на о-ве Высоцкий

1 – изотопный состав кислорода и водорода в воде, извлекаемой скв.1 и 2 водозабора ООО «СПЕЦ-ТРАНС» относительно стандарта SMOW; 2 – скважины водозаборов на Карельском перешейке (наиболее легкие составы отвечают скважинам в районе устья р. Сестра); 3 – среднемноголетний изотопный состав воды в р. Нева; 4 – изотопный состав подземных вод венд-рифейского комплекса в Ладожском грабене на глубине 250 м; 5 – локальная линия метеорных вод (тренд изменения изотопного состава осадков в годовом цикле наблюдений)

Изотопный состав подземных вод Карельского перешейка и о-ва Кронштадт изучен в 2012-2019 гг. (рис.6). Подземные воды, имеющие современное питание, что установлено достоверно по присутствию трития, оказываются изотопически легче, чем современные атмосферные осадки, для которых среднемноголетнее $\delta^{18}\text{O} = -10,7\text{ ‰}$ и $\delta^2\text{H} = -76\text{ ‰}$ (рис.6). Воды грунтовых горизонтов характеризуются составами около $\delta^{18}\text{O} = -11,3\text{ ‰}$ и $\delta^2\text{H} = -80\text{ ‰}$, поскольку инфильтрационное питание формируется за счет изотопически легких осадков холодного периода года (талого снега и осенне-весенних дождей). Воды вендского водоносного комплекса на Карельском перешейке в районе устья р. Сестра имеют изотопный состав до $\delta^{18}\text{O} = -14,2\text{ ‰}$ и $\delta^2\text{H} = -104\text{ ‰}$, а венд-рифейского комплекса в Ладожском грабене на глубине около 250 м облегчаются вплоть до $\delta^{18}\text{O} = -16,6\text{ ‰}$ и $\delta^2\text{H} = -119\text{ ‰}$.

Воды с указанными легкими изотопными составами могли формироваться только в климатических условиях, когда среднегодовые температуры оказывались заметно ниже современных среднегодовых температур, которые составляют около 6,3 °С. Согласно расчету по формуле (Dansgaard, 1964) [26] с использованием наиболее легких величин изотопного состава воды, характерных для венд-

ского и венд-рифейского комплексов, климатические среднегодовые температуры в период формирования этих вод достигали $-3,9\text{ °С}$. Следовательно, такие воды сформировались во время последнего ледникового периода или непосредственно по его окончании. Холодные климатические условия с оклонулевыми среднегодовыми температурами преобладали на территории северо-запада России в конце последнего похолодания около 10-12 тыс. лет назад. В этот период район Санкт-Петербурга представлял собой залив Балтийского ледникового озера, бассейн которого был наполнен талой ледниковой водой, которая имела облегченный (относительно современных осадков) изотопный состав [27-36].

Для участка водозабора ООО «СПЕЦ-ТРАНС» по результатам двукратного опробования найдены следующие изотопные характеристики подземных вод: $\delta^{18}\text{O} = -12,4\text{ ‰}$ и $\delta^2\text{H} = -92,4\text{ ‰}$, что соответствует среднегодовым температурам около 2 °С. Учитывая конструкции скважин и положение участка работ, следует принять, что пробы воды, полученные в ходе откачек, представляют собой смеси глубинной и близповерхностной компонент. Если использовать указанные средние изотопные характеристики для грунтовых вод $\delta^{18}\text{O} = -11,3\text{ ‰}$ и $\delta^2\text{H} = -80\text{ ‰}$ и реликтовых вод венд-рифейского комплекса $\delta^{18}\text{O} = -16,6\text{ ‰}$ и $\delta^2\text{H} = -119\text{ ‰}$, то из уравнения двухкомпонентного смешения можно найти, что соотношение объемов древней и молодой компонент составляет примерно 0,27. Если использовать в качестве крайнего члена изотопный состав подземных вод в районе устья р. Сестра, то соотношение древняя/молодая компонента составит 0,4. Из этого следует, что минимум третья часть воды, извлекаемой скважинами водозабора ООО «СПЕЦ-ТРАНС», представляет собой реликтовую воду, сформированную инфильтрационным питанием с легким изотопным составом.

Заключение. По результатам проведенных буровых, геофизических, опытно-фильтрационных работ и лабораторных исследований можно сделать вывод, что разведанный водозабор можно отнести к уникальному месторождению подземных вод, обладающему нехарактерным для севера Ленинградской обл. качеством вод, что может быть обусловлено смешением современных осадков и реликтовых вод Балтийского ледникового озера. Это позволяет решить задачу обеспечения населения г. Высоцк и предприятий о-ва Высоцкий хозяйственно-питьевым водоснабжением, соответствующим всем требованиям СанПиН 2.1.3684-21, СанПиН 2.1.3685-21, СанПиН 2.6.1.2523-09



(НРБ-99/2009) и ТР ЕАЭС 044/2017. Также следует отметить ежегодные призовые места, присуждаемые образцам воды из данного водозабора, например в мае 2022 г. образец воды был награжден серебряной медалью на ежегодном конкурсе с международным участием «Вода года – 2022» в категории «Природная питьевая вода с неизменным составом».

ЛИТЕРАТУРА

1. Ананина И. Проблемные воды // Деловой Петербург. 2014. № 133. С. 18.
2. Litynenko V.S., Sergeev I.B. Innovations as a Factor in the Development of the Natural Resources Sector // Studies on Russian Economic Development. 2019. Vol. 30. № 6. P. 637-645. DOI: [10.1134/S107570071906011X](https://doi.org/10.1134/S107570071906011X)
3. Ерзова В.А., Румынин В.Г., Судариков С.М. О воздействии объектов Северо-Западного атомно-промышленного комплекса на загрязнение подземных вод (Ленинградская область) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т. 332. № 9. С. 30-42. DOI: [10.18799/24131830/2021/9/3351](https://doi.org/10.18799/24131830/2021/9/3351)
4. Ковшов С.В., Якубовский М.М., Ковшов В.П. Водохозяйственная рекультивация песчаных карьеров ленинградской области как комплексный способ решения экологических проблем региона // Записки Горного института. 2014. Т. 207. С. 112-115.
5. Котлов С.Н., Шамшев А.А. Численное геофильтрационное моделирование горизонтальных дренажных скважин // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 6. С. 45-55. DOI: [10.25018/0236-1493-2019-0-45-55](https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-0-45-55)
6. Головина Е.И., Гребнева А.В. Управление ресурсами подземных вод на трансграничных территориях (на примере Российской Федерации и Эстонской Республики) // Записки Горного института. 2021. Т. 252. С. 788-800. DOI: [10.31897/PML.2021.6.2](https://doi.org/10.31897/PML.2021.6.2)
7. Golovina E., Grebneva A. Some Aspects of Groundwater Resources Management in Transboundary Areas // Journal of Ecological Engineering. 2021. Vol. 22. Iss. 4. P. 106-118. DOI: [10.12911/22998993/134037](https://doi.org/10.12911/22998993/134037)
8. Боревский Б.В., Дробноход Н.И., Язвин Л.С. Оценка запасов подземных вод. Киев: Выща школа. Головное изд-во, 1989. 407 с.
9. Кадастр подземных вод СССР. Ленинградская область. Т. 2, кн. 2. М.: Копировально-карографическое предприятие всесоюзного геологического фонда, 1962. 205 с.
10. Классификация запасов и прогнозных ресурсов питьевых, технических и минеральных подземных вод. М.: МПР России, 2020. 9 с.
11. Khaustov V.V., Ustjugov D.L. Formation of drainage waters of Turgnauz deposit in ecological aspect // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 87. № 042006. P. 1-5. DOI: [10.1088/1755-1315/87/4/042006](https://doi.org/10.1088/1755-1315/87/4/042006)
12. Norova L.P. Basic prerequisites for the formation and development of the Leningrad School of Engineering Geology // Global View of Engineering Geology and the Environment: Proceedings of the International Symposium and 9th Asian Regional Conference of IAEG, 25 September 2013, Beijing, China. 2013. P. 549-555. DOI: [10.1201/b15794-88](https://doi.org/10.1201/b15794-88)
13. Lebedeva Y., Kotiukov P., Lange I. Study of the geo-ecological state of groundwater of metropolitan areas under the conditions of intensive contamination thereof // Journal of Ecological Engineering. 2020. Vol. 21. Iss. 2. P. 157-165. DOI: [10.12911/22998993/116322](https://doi.org/10.12911/22998993/116322)
14. Leonteva E., Grebneva A., Erzova V. The analysis of changing hydrodynamic conditions aiming to validate geo-migration model with insufficient benchmark data // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management (SGEM), 28 June – 7 July 2019, Albena, Bulgaria. STEF92 Technology, 2019. Vol. 19. Iss. 1.2. P. 523-530. DOI: [10.5593/sgem2019/1.2/S02.067](https://doi.org/10.5593/sgem2019/1.2/S02.067)
15. Насонова Л.Д., Саммет Э.Ю., Андреева Н.Г. и др. Комплект геологических, гидрогеологических и геоэкологических карт территории Санкт-Петербурга и его окрестностей в масштабе 1:200 000 (с объяснительной запиской) // Всероссийское совещание «Главнейшие итоги в изучении четвертичного периода и основные направления исследований в XXI веке». СПб.: ВСЕГЕИ, 1998. 324 с.
16. Лаломов Д.А., Глазунов В.В. Оценка коэффициента фильтрации песчано-глинистых грунтов на основе совместной интерпретации данных методов сопротивления и георадиолокации // Записки Горного института. 2018. Т. 229. С. 3-12. DOI: [10.25515/PML.2018.1.3](https://doi.org/10.25515/PML.2018.1.3)
17. Иванов М.А. Минералогические признаки и закономерности пространственного распределения разновозрастной трещиноватости в гранитах и пегматитах месторождения «Возрождение» («Кавантаари»), Выборгский массив // Записки Горного института. 2015. Т. 212. С. 21-29.
18. Устюгов Д.Л., Мирончук Д.П. Экспресс-откачки как способ выявления взаимодействия обводненной толщи с внешней средой // Записки Горного института. 2015. Т. 212. С. 84-88.
19. Кудельский А.В., Норова Л.П. О прикладной гидрогеохимии // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2014. № 1. С. 91-96.
20. Устюгов Д.Л. Постоянно действующая гидродинамическая модель Яковлевского месторождения богатых железных руд (Курская магнитная аномалия) // Записки Горного института. 2013. Т. 200. С. 332-335.
21. Цинкобурова М.Г., Норова Л.П. Отражение гидрогеологических особенностей северо-западной России в старинных топонимах региона // Известия РАН. Серия географическая. 2021. Т. 85. № 5. С. 750-762. DOI: [10.31857/S2587556621050101](https://doi.org/10.31857/S2587556621050101)
22. Блинов П.А., Никишин В.В., Козлов А.В. Гидроаэромеханика и теплообмен в бурении. СПб: Лема, 2015. 93 с.
23. Данильева Н.А., Данильев С.М., Большакова Н.В. Выделение глубокозалегающего рассольного водоносного горизонта в породах хемогенного разреза по данным геофизических исследований скважин и 2D-сейсморазведки // Записки Горного института. 2021. Т. 250. С. 501-511. DOI: [10.31897/PML.2021.4.3](https://doi.org/10.31897/PML.2021.4.3)



24. Данильев С.М., Данильева Н.А., Исакова Е.П., Ашкар Г.Х. Исследование трещиноватости на месторождении облицовочного камня с привлечением метода георадиолокации // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331. № 9. С. 140-145. DOI: 10.18799/24131830/2020/9/2816
25. Mardashov D., Duryagin V., Islamov S. Technology for improving the efficiency of fractured reservoir development using gel-forming compositions // Energies. 2021. Vol. 14. Iss. 24. № 8254. DOI: 10.3390/en14248254
26. Dansgaard W. Stable isotopes in precipitation // Tellus. 1964. Vol. 16. P. 436-468.
27. Andrén T., Andrén E., Björck S., Conley D.J. The Development of the Baltic Sea Basin During the Last 130 ka // The Baltic Sea Basin. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2011. P. 75-97.
28. Hyttinen O. Sedimentological and chronological aspects of the Younger Dryas – Holocene transition record in southern Finland and northern Baltic. Helsinki: Unigrafia, 2012. P. 38.
29. Geochemistry of Baltic sea surface sediments / Ed. by S. Uscinowicz. Warszawa: Polish Geological Institute – National Research Institute, 2011. 356 p.
30. Uscinowicz S. Southern Baltic area during the last deglaciation // Geological Quarterly. 1999. Vol. 43. № 2. P. 137-148.
31. Vassiljev J., Saarse L. Timing of the Baltic Ice Lake in the eastern Baltic // Bulletin of the Geological Society of Finland. 2013. Vol. 85. № 1. P. 9-18.
32. Tikkanen M., Oksanen J. Late Weichselian and Holocene shore displacement history of the Baltic Sea in Finland // Fennia – International Journal of Geography. 2002. Vol. 180. № 1-2. P. 9-20.
33. Bennike O., Jensen J.B. A Baltic Ice Lake lowstand of latest Allerød age in the Arkona basin, southern Baltic sea // Geological Survey of Denmark and Greenland. 2013. Vol. 28. P. 17-21.
34. Wohlfarth B., Björck S., Funder S. et al. Quaternary of Norden // Episodes. 2008. Vol. 31. № 3. P. 73-81.
35. Kemp A.C., Horton B.P., Engelhart S.E. Sea-Levels, Late Quaternary. Late Quaternary Relative Sea-Level Changes at Mid-Latitudes / Encyclopedia of Quaternary Science (Second Edition). Elsevier, 2013. P. 489-494. DOI: 10.1016/B978-0-444-53643-3.00140-0
36. Lemke W., Harff J. Europe. Holocene / Encyclopedia of Geology. Elsevier, 2005. P. 147-160. DOI: 10.1016/B0-12-369396-9/00470-6

Авторы: В.В.Никишин, канд. техн. наук, доцент, <https://orcid.org/0009-0008-7973-1856> (Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия), П.А.Блинов, канд. техн. наук, доцент, Blinov_PA@pers.spmi.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4379-8804> (Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия), В.В.Федоров, управляющий, <https://orcid.org/0009-0006-3949-4855> (ООО «СПЕЦ-ТРАНС», Высоцк, Россия), Е.К.Никишина, коммерческий директор, <https://orcid.org/0009-0002-5290-2762> (ООО «Эко-Эксперт», Санкт-Петербург, Россия), И.В.Токарев, канд. геол.-минерал. наук, ведущий специалист, <https://orcid.org/0000-0003-1095-0731> (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.