

ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(СПбГУ)  
Институт наук о Земле

**Степаненко Сергей Сергеевич**

**Факторы формирования химического состава грунтовых вод долины  
верхнего течения реки Оредеж**

Выпускная магистерская работа  
по направлению 05.04.01 «Геология»

Научный руководитель:

к.г.-м.н., доцент Виноград Н.А.

Заведующий кафедрой:

к.г.-м.н., доцент Бурлуцкий С.Б.

Санкт-Петербург  
2020

## Оглавление

Глава 1. Физико-географические условия территории исследования .....	4
1.1. Общая характеристика исследуемого участка .....	4
1.2. Геоморфология .....	6
1.3. Климат .....	6
1.4. Гидрографическая сеть .....	8
Глава 2. Геолого-гидрогеологические условия территории .....	10
2.1. Геологическое строение территории .....	10
2.2. Гидрогеологические условия .....	14
Глава 3. Методы исследования .....	17
3.1. Методика определения химического состава природных вод .....	17
3.2. Методика изучения состава и свойств грунта .....	25
Глава 4. Гидрохимическая характеристика основных водоносных горизонтов участка .....	32
4.1. Грунтовые воды (водоносный горизонт старооскольских и четвертичных отложений (D <sub>2st</sub> + Q)) .....	32
4.2. Наровский водоносный горизонт (D <sub>2 nr</sub> ) .....	37
4.3. Ордовикский водоносный комплекс (O <sub>1-3</sub> ) .....	38
4.4. Поверхностные воды .....	41
Глава 5. Состав и свойства водовмещающих пород как фактор формирования химического состава грунтовых вод .....	44
Глава 6. Современное состояние грунтовых вод .....	55
Заключение .....	62
Список литературы .....	63
Приложение 1 .....	66

## Введение

Выпускная магистерская работа посвящена изучению факторов формирования химического состава грунтовых вод долины верхнего течения реки Оредеж, района деревни Даймище (Гатчинский район Ленинградской области).

Актуальность работы связана с продолжающимся увеличением антропогенного воздействия на качество грунтовых вод деревни Даймище, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения, которое на протяжении многих лет не соответствует нормативным требованиям для питьевых вод.

Цель работы – определить факторы формирования и особенности химического состава подземных вод района.

Задачи: охарактеризовать общие гидрогеохимические условия участка, состав вмещающих пород; выявить тенденции изменения химического состава подземных вод; оценить степень пригодности поверхностных и подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения; выяснить степень и причины загрязнения поверхностных и грунтовых вод.

Для решения этих задач необходимо: отобрать пробы природных вод, провести полевой экспресс-анализ и лабораторный химический анализ; систематизировать полевые материалы многолетнего гидрохимического опробования; используя созданную базу данных, отобрать пробы и изучить состав вмещающих пород, проанализировать изменение химического состава подземных и поверхностных вод в период с 2007 по 2019 гг.

В работе применены материалы, полученные преподавателями и учащимися кафедры гидрогеологии СПбГУ в 2007 – 2019 гг. в процессе летних учебных практик по гидрогеологии в районе дер. Даймище и базы РГГМУ. Результаты бакалаврской работы 2016 – 2017 гг. (Бакалаврская работа..., 2017), а также полевой материал за 2017 – 2019 гг., полученный и проанализированный в химической лаборатории лично автором.

## Глава 1. Физико-географические условия территории исследования

### 1.1. Общая характеристика исследуемого участка

Объектом исследования является центральная часть долины реки Оредеж в районе деревни Даймище Рождественского сельского поселения Гатчинского района Ленинградской области.

Ленинградская область располагается на северо-западе Восточно-Европейской равнины и прилегает к водам Финского залива Балтийского моря на протяжении 330 км. Область граничит с Эстонией, Финляндией, Карелией, Вологодской, Новгородской и Псковской областями (рис. 1).

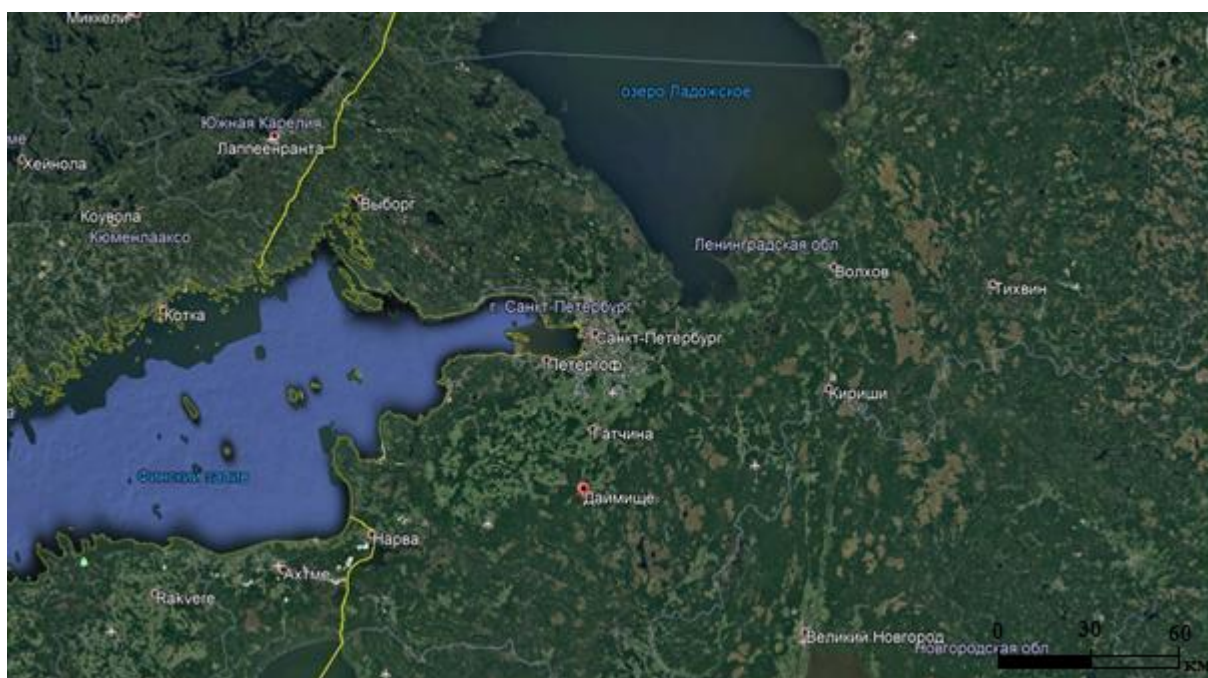


Рис.1. Географическое положение дер. Даймище

Ленинградская область расположена в умеренных широтах северного полушария и занимает площадь 83908,8 км<sup>2</sup>. В Ленинградской области 17 административных районов и 26 городов.

Исследуемый район располагается в окрестностях базы РГМУ в деревне Даймище поблизости от поселка Батово и птицефабрики «Оредеж», в 12 км на запад от железнодорожной станции Сиверская и в 87 км от города Санкт-Петербург.

В геоморфологическом отношении участок располагается в южной части Ижорского плато, в долине реки Оредеж. Для территории характерен холмисто-

моренный и равнинно-моренный рельеф, который появился в итоге Валдайского оледенения.

Климат – атлантико-континентальный. Морские воздушные массы обуславливают относительно мягкую зиму с частыми оттепелями и умеренно теплое лето.

Территорию дренирует р. Оредеж с притоками, которая берет свое начало из Кикеринских болот в районе деревни Донцо, является правым притоком реки Луга, которая впадает в Финский залив.

На участке исследования преобладают земли подзолистого и сильноподзолистого типа. Местным населением в сельскохозяйственных целях используются разные типы удобрений, также отходы птицефабрики «Оредеж», чтобы улучшить плодородие земель.

Растительность свойственна для подзоны южной тайги. Распространены хвойные и местами смешанные, широколиственные леса. В лесах растет брусника, клюква, малина, черника и иные ягоды, характерные для зон тайги. Большая доля земель территории занята сельхозпроизводством (луга, пашни, сады, кустарники и т.д.). Местное население в основном работает на птицефабрике и занимается сельским хозяйством.

Фауна территории многообразна и преимущественно представлена лесными животными (белками, куницами, лисами, зайцами, норками), птицами (утки, глухари, кукушки). В пресных водах области водятся окунь, судак, лещ, плотва, щука, сиг.

В данном районе уже более пятидесяти лет размещается база Российского государственного гидрометеорологического университета (РГГМУ), созданная для прохождения студентами этого вуза учебных практик. С начала 2000-х годов студенты кафедры гидрогеологии СПбГУ также проходили здесь летние учебные практики по гидрогеологии. Поэтому территорию можно считать достаточно изученной. Ежегодно отбирается не менее 20-30 проб из трех водоносных горизонтов и поверхностных вод р. Оредеж и ее притоков на гидрохимический анализ. Существует информационная база по химическому составу природных вод с 2007 года (Виноград, Степаненко, 2017).

## 1.2. Геоморфология

Ленинградская область располагается на контакте двух больших геологических структур – Балтийского кристаллического щита и Русской плиты. Рельеф этой территории представляет из себя равнину с пологими холмами.

Ландшафт Ленинградской области формировался от 50 до 10 тысяч лет назад во время таяния ледника. Изрезанная зоной глубочайших и узких долин довалдайская поверхность представляла собой «пороги», куда сносился материал, доставленный ледником. Поверхность Предглинтовой низменности состоит из морских постледниковых отложений. На Балтийском щите доминировал ледниковый снос, а на территории Русской плиты преобладало накопление ледниковых наносов. С севера на юг значимость ледниковых аккумулятивных форм увеличивается.

В южной части Предглинтовая низменность примыкает к Балтийско-Ладожскому глинту, который тянется от реки Нарвы на западе до реки Сясь на востоке. Глинт слагают ордовикские карбонатные отложения. На юге глинта находится Ордовикское плато, которое на западе называют Ижорской возвышенностью (высота до 168 м), а на востоке – Путиловским плато. Поверхность Ижорской возвышенности и Путиловского плато покрыта многочисленными карстовыми воронками и небольшими пустотами. Южнее Ордовикского плато располагается равнинная территория Главного девонского поля, которая, в основном, имеет наклон в сторону долины реки Волхов и котловины озера Ильмень. В междуречье Луги и Плюссы девонская поверхность разбивается плотной сетью старых долин, образовавшихся в неогене в итоге подъема территории и роста эрозионных процессов.

Тихвинская гряда и Вепсовская возвышенность являются восточной частью участка северной окраины Валдайско-Онежской возвышенности, ограниченной на западе карбоновым уступом.

Вся площадь северо-запада России неоднократно переживала материковые оледенения. Современный рельеф образовался в результате экзарационной активности передвигавшихся ледяных массивов мощностью от 2 до 4 тыс. м.

## 1.3. Климат

Приближенность Атлантического океана, а также наличие таких больших водоемов, как Финский залив, Ладожское, Онежское, Псковское и Чудское озера оказывают значительное воздействие на климат. По сути его характеризуют как умеренно континентальный с признаками морского влияния. Климат области отмечается нестабильностью и изменчивостью погодных условий в период сезонов и на протяжении

всего времени года (Гидрогеология СССР, 1967).

Весной температура увеличивается довольно медленно, повторяющиеся похолодания объясняются пришествием арктических масс воздуха. Активность циклонов весной заметно сокращается, господствует ясная солнечная погода.

Начало лета соответствует концу ночных заморозков. Сперва оно бывает солнечным, но к окончанию становится пасмурным, облачным и дождливым и фактически постоянно прохладным.

Осень отличается изменчивостью погоды: усиленная облачность, более частые атмосферные осадки, хмарь и высокая влажность воздуха. Зачастую в сентябре, наступает сухая, теплая и ясная погода. Осень нередко бывает продолжительной.

Приближение зимы может тянуться три месяца с неоднократными выпадением и таянием снега. В целом зима характеризуется изменчивой мягкой погодой с низкой облачностью. Время от времени бывают туманы и выпадают осадки; во время потепления часто льют дожди. Во второй половине зимы преобладают низкие температуры воздуха из-за нашествия холодных арктических масс.

Континентальность климата возрастает в восточном направлении. Годичная амплитуда температуры на западе области на  $4^{\circ}$  менее, чем на востоке. Средняя годовая температура на востоке области равна  $+2,6^{\circ}$ , а на западе –  $+4,5^{\circ}$ .

Январь считается самым прохладным месяцем на большей части территории Ленинградской области, а на западе, где неподалеку располагается большое количество крупных водоемов, таким месяцем является февраль.

Июль – самый теплый месяц в этом регионе. Средние июльские температуры меняются в интервале от 16 до 17 градусов.

Длительность периода со среднесуточной температурой выше десяти градусов составляет от 125 дней на юго-западе до 105-110 дней на востоке и северо-востоке.

Ленинградская область размещена в зоне чрезмерного увлажнения. Относительная влажность воздуха в среднем равна 60 процентов летом и 85 процентов в зимнюю пору. Годовое количество осадков содержит 550-850 мм, а годовая испаряемость – 300-400 мм. Выходит, превышение осадков над испаряемостью составляет больше 200 мм и в некоторых регионах доходит до 400 мм.

Самое большое число осадков выпадает в конце лета и в начале осени. Меньше всего осадков приходится на март и апрель. Основная часть осадков выпадает в виде снега. Постоянный снежный покров в западных и юго-западных регионах сохраняется примерно 110-140 дней, а на востоке – 150-160 дней (Схема комплексного использования..., 2015).

#### 1.4. Гидрографическая сеть

Территория Ленинградской области известна своим многообразием болот, рек и озер, что связано с чрезвычайно избыточной влажностью региона, которая преобладает над испарением.

Реки и озера собирают свои воды с большой площади, и практически вся эта огромная масса воды стекает к Финскому заливу Балтийского моря. К бассейну Балтийского моря не относятся только реки и озера малой территории, которая расположена в восточном направлении от Вепсовской возвышенности и Тихвинской гряды, – они имеют сток к Волге.

Ленинградская область в границах Русской равнины – одна из наиболее «озерных». В ней больше 1800 озер, а озерность (доля площади озер ко всей площади области) составляет четырнадцать процентов.

Наибольшим из пресных озер Европы является Ладожское озеро. Его площадь с островами равна 18,3 тыс. км<sup>2</sup>, но не считая островов – 17,7 тыс. км<sup>2</sup>; длина составляет 200 км, а ширина – 125 км. Поверхность озера над уровнем моря располагается на высоте 4,3 м. Средняя его глубина равна 50 м, а наибольшая – 233 м.

Второе по размеру озеро в Европе после Ладожского считается Онежское озеро, омывающее небольшую часть территории Ленинградской области неподалеку от истоков реки Свири. Площадь Онежского озера равна 9,9 тыс. км<sup>2</sup>. Его длина – 245 км, а ширина – 90 км. Средняя глубина составляет 31 м, а наибольшая – 120 м.

Остальные озера ледникового происхождения образовались при таянии ледяных глыб, сохранившихся после ледника и размещены в доледниковых впадинах – лощинах и котловинах межморенных холмов.

Озера расположены хаотично. В особенности много их на Карельском перешейке, на юго-западе и в восточной части поднятия.

Некоторые озера, которые находятся в старых речных руслах, похожи на реки: они рассечены маленькими перемычками и часто совмещены между собой речными протоками, а также фактически все являются сточными.

Главными источниками питания озер являются атмосферные осадки, речные и подземные воды.

Речная сеть очень уплотненная и разветвленная. Суммарная длина всех рек составляет 50 000 км, что есть приблизительно 0,6 км на 1 кв. км территории, а это намного больше, чем во всех других районах нашей страны.

К большим рекам Ленинградской области относят Неву, Свирь, Волхов, Вуоксу, Нарву, Лугу (Ильина, Грахов, 1978).



Большая часть рек берет свое начало либо в озерах, либо в болотах на Валдайском и Псковско-Чудском водоразделах. Фактически они все относятся к равнинному типу. Их уклон небольшой – до 40 см на 1 км. Там, где реки пересекают глинт и Карбоновый уступ, они создают пороги, падение на типичных промежутках составляет 2-3 м на 1 км.

В годичном стоке рек приблизительно половина приходится на талые воды, а 30 процентов составляют подземные воды.

Реки, которые берут свое начало из озер, обладают неплохим стоком и частично постоянным режимом. Для остальных рек характерно наличие половодья весной, межень – летом и в зимнюю пору, а увеличение уровня воды приходится на осень. Весенний подъем вод связан с таянием снега и происходит очень быстро. Межень летом часто срывается дождевыми паводками. Бывает так, что на некоторых реках подъем воды в паводок быть может выше, чем в половодье. В зимнюю пору межень стабильнее, чем в летнее время. Осенние подъемы, которые вызваны обложными осадками, достаточно длительны, но не превышают другие сезоны.

Полное количество стока на всей территории превосходит 300 мм. Половина речного стока приходится на весну, а конкретно на апрель и май, и приблизительно третья часть – на осенние месяцы (октябрь, ноябрь).

Реки, протекающие по Ордовикскому плато, обычно невелики и питаются за счет притока подземных вод. Их воды очень минерализованы и у них малое колебание стока.

Река Оредеж берет начало на южном склоне Ижорской возвышенности из небольшого водоема, образовавшегося в месте выхода ключей, и впадает в р. Лугу. В верховье река зарегулирована шестью плотинами бывших малых ГЭС с водохранилищами небольшой емкости. Это нарушает ее естественный режим. Длина реки - 192 км, площадь водосбора 3220 км<sup>2</sup>. Русло довольно извилистое, ширина 15-20 м в среднем и до 30-40 м в нижнем течении. Глубина большей части реки 0,5-2,0 м, скорость течения 1,0-1,5 м/с.

Водный режим р. Оредеж характеризуется весенним половодьем и сравнительно устойчивой, но довольно высокой летне-осенней и зимней меженью, что объясняется обильным грунтовым питанием из ключей карстовых вод Ордовикского плато (Схема комплексного использования..., 2015).

Правый берег реки Оредеж на протяжении около 200 м представляет собой почти непрерывное геологическое обнажение среднедевонских песков и слабо сцементированных песчаников.

## Глава 2. Геолого-гидрогеологические условия территории

### 2.1. Геологическое строение территории

В геологическом отношении исследуемый участок находится на северо-западной окраине Московской синеклизы по юго-восточной границе Ижорской возвышенности. Район имеет двуэтажное геологическое строение:

1) Кристаллический фундамент архейско-протерозойского возраста (AR-PR), (сложенный гранитом, гнейсом, роговой обманкой, слюдяным сланцем), он залегает на глубине 477 м (по данным бурения в пос. Сиверский);

2) Осадочный чехол, представлен отложениями венда, кембрия, ордовика, девона, перекрывающие отложения четвертичного периода.

Мощность осадочного чехла в районе исследований – 477 м (скважина в посёлке Сиверский). Основная особенность геологического строения – это моноклинальное залегание осадочных пород с пологим падением (4-6 градусов на юго-восток).

Чехол слагают (рис. 2, 3):

1. Вендские отложения ( $Vkt_1$ ). Представлены нижнекотлинским и верхнекотлинским горизонтами. Нижнекотлинский – мощность 40 метров, состоит из разнозернистых песчаников с прослоями глин и конгломератов. Верхнекотлинский – мощность около 60 метров, состоит из переслаивающихся глин и песчаников с прослоями алевритов.

2. Нижне- и среднекембрийский ( $\epsilon_{1-2}$ ) (ломоносовский, лонтовасский, пиритасский и тискретский горизонты). В литологическом отношении кембрийская система представлена глинами и суглинками в нижней части и песчаниками – в верхней. Общая мощность толщи составляет 100 метров.

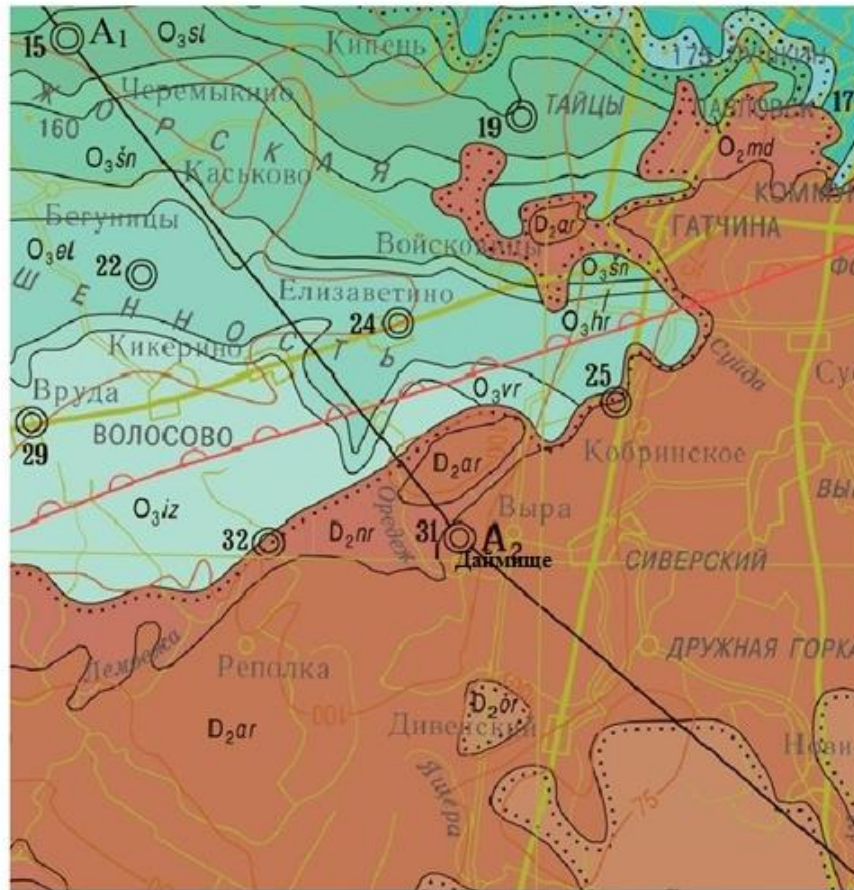
3. Ордовикская система ( $O_{1-2}$ ). Нижнеордовикские отложения представлены волховским, таллинским, кундским горизонтами. Они сложены трещиноватыми и закарстованными известняками с прослоями доломитов и мергелей. Общая мощность системы составляет 10-55 метров.

4. Средний отдел девонской системы представлен наровским ( $D_{2nr}$ ) и старооскольским ( $D_{2st}$ ) горизонтами. Наровский горизонт сложен переслаивающейся толщей глин, мергелей, песчанистых известняков и доломитов, мощностью 20-55 м, старооскольский слагают слабосцементированные песчаники и пески красного цвета, местами косослоистые, с тонкими прослойками красных и бурых глин ( $D_{2st}$ ). В песчаниках встречаются обломки кистеперых рыб. Видимая мощность толщи песков и песчаников достигает 15-20 метров.

5. Кайнозойская эратема, четвертичная система. Она, в свою очередь, разделена. Верхнечетвертичная система ( $Q_{III}$ ) состоит из моренного ( $g Q_{III}$ ) и флювиогляциального ( $fg Q_{III}$ ) горизонтов. Моренный горизонт слагают моренные глины, суглинки, супеси с валунами, галькой, гравием, мощностью 2 – 20 м. Флювиогляциальный горизонт образует озы и флювиогляциальные равнины. Отложения перекрывают морену и представлены разнозернистыми и гравелистыми песками с прослоями галечников и суглинков общей мощностью до 10 м и более.

6. Современный отдел четвертичных отложений ( $Q_{IV}$ ) представлен аллювиальными ( $al Q_{IV}$ ) и элювиальными ( $e Q_{IV}$ ) отложениями. Аллювиальные отложения сложены разнозернистыми песками, суглинками, гравием, галькой. Мощность горизонта 0,05 – 3,5 м. Элювиальные отложения – почвенно-растительный слой мощностью 0,1-0,3 м. Также присутствуют и современные техногенные отложения ( $tg Q_{IV}$ ). К ним относятся перерытые коренные породы и отвалы карьера.

## Геологическая карта дочетвертичных образований

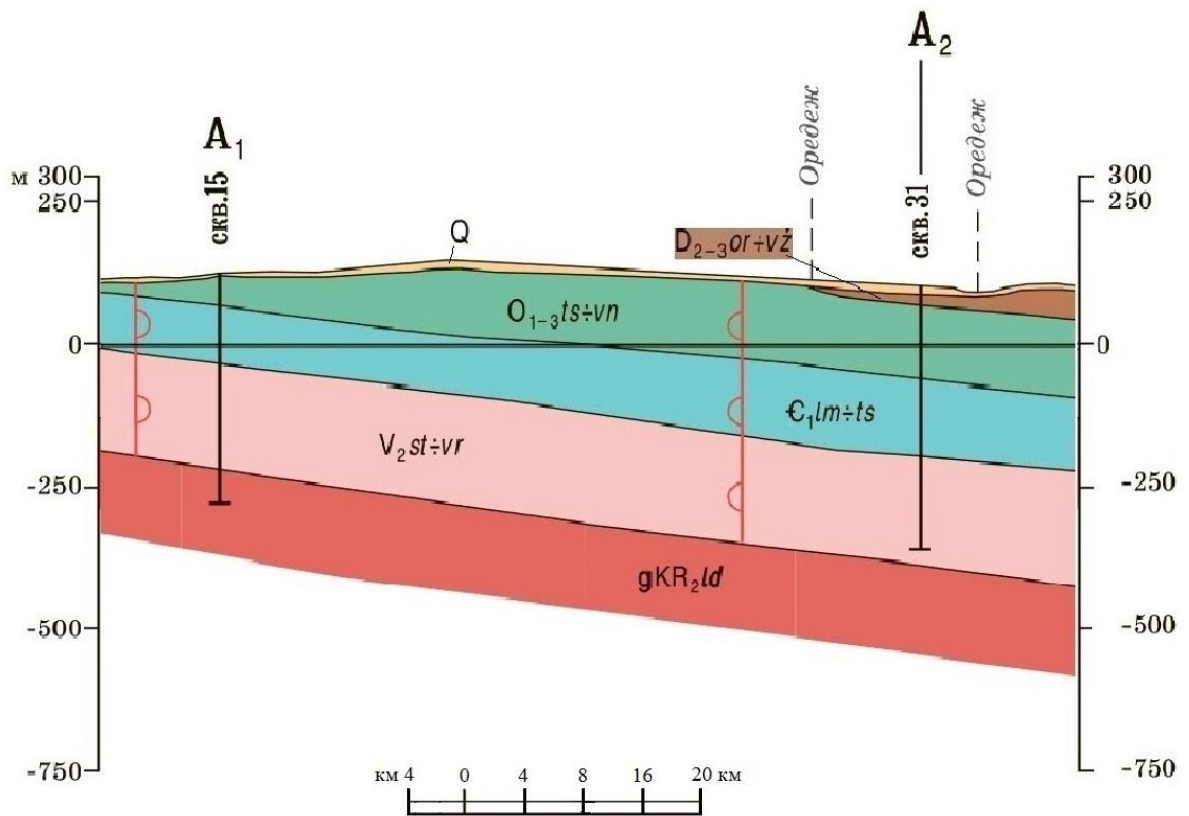


## Условные обозначения геологической карты

- D<sub>2</sub>ar** Арухоловская свита – пески и песчаники красноцветные с прослоями алевролитов и глин, редко мергелей и песчаных доломитов (до 135 м)
- D<sub>2</sub>nr** Наровская свита – доломиты и мергели с прослоями глин, алевролитов и песчаников (72–99 м)
- O<sub>3</sub>pc** Печуркинская свита – известняки доломитизированные и доломиты (10–14 м); изварская свита (iz) – доломиты крепкие (10–30 м)
- O<sub>3</sub>hm** Хирмузская свита – известняки глинистые и мергели (до 4 м); врудская свита (vr) – доломиты с прослоями мергелей (1,5–5 м)
- O<sub>3</sub>kr** Куртская свита – известняки (8–18 м); елизаветинская свита (el) – доломиты (8–35 м)
- O<sub>3</sub>hr** Хревицкая свита – глинистые и комковатые доломитизированные известняки и доломиты (8–16 м)
- O<sub>3</sub>sn** Шундоровская свита – глинистые известняки и доломиты (10–30 м)
- O<sub>3</sub>gr** Грязновская свита – известняки и доломиты (5–22 м). Местами из-за размыва только не более (3 м)
- O<sub>3</sub>sl** Солецкая свита – известняки и доломиты (11–22 м)
- O<sub>2</sub>md** Медниковская свита – глинистые известняки и доломиты неравномерной крепости (до 31 м)
- 31** Буровые скважины и их номера
- Границы площадных зон трещиноватости
- 100 – Изогипсы рельефа дочетвертичной поверхности (м)
- Линия разреза

Рис. 2. Фрагмент геологической карты района деревни Даймище (Карта дочетвертичных..., 2010).

## Геологический разрез по линии А<sub>1</sub> - А<sub>2</sub>



### Условные обозначения геологического разреза

<b>Q</b>	Нерасчлененные отложения (до 200 м)
<b>D<sub>2-3</sub> or + vz</b>	Оредежская и важинская свиты объединенные — пески, песчанки с прослоями алевролитов и глин (до 133 м) ; буртниекая, лютинская и ямтесовская свиты объединенные (dt+jat) — пески, песчанки с прослоями алевролитов и глин (до 207 м) ; старооскольская серия и огаревская толща (so+og) — глины с прослоями песков и известняков (до 180 м)
<b>O<sub>1-3</sub> ts + vn</b>	Тосненская, копорская, назиевская, леэтеская, волховская, обуховская, медниковская, солецкая, грязновская, шундеровская, хривицкая, елизаветинская, врудская, изварская, веинская свиты объединенные — известняки, доломиты, пески, песчанки (до 300 м) ; ухринская, семенцовская, леэтеская, волховская, обуховская, поломецкая, березайская, грязновская, шундеровская, хривицкая, елизаветинская, врудская, изварская свиты объединенные (ur+iz) — доломиты, доломитизированные известняки, пески, песчанки, местами глины и алевролиты (до 300 м)
<b>E<sub>1</sub> lm + ts</b>	Ломоносовская, сиверская, локатиская, тискреская свиты объединенные — глины, алевролиты, песчанки (до 150 м) ; лежская свита (lz) — песчанки, алевролиты с прослоями глин (до 70 м)
<b>V<sub>2</sub> rd + nk</b>	Редкинская серия, любимская, решминская, некрасовская свиты объединенные — песчанки с прослоями алевролитов и аргиллитов, алевролиты, тонкослоистые глины, гравелиты (до 470 м) ; старорусская, василеостровская и воронковская свиты объединенные (st+vr) — глины пестроцветные с прослоями песчанков и алевритов (до 250 м)
<b>gKR<sub>2</sub> ld</b>	Гранат-силлимонит-кордиерит-калишпатовые гнейсы, биотитовые и гранат-биотитовые гнейсы мигматизированные Ладожской серии
31	Буровые скважины и их номера
	Границы площадных зон трещиноватости

Рис. 3. Схематический геологический разрез исследуемой территории по линии А<sub>1</sub>-А<sub>2</sub> (Карта дочетвертичных..., 2010).

## 2.2. Гидрогеологические условия

Изучаемая территория относится к северо-западной части Ленинградского артезианского бассейна второго порядка. Этот бассейн относится к Среднерусскому артезианскому бассейну первого порядка Восточно-Европейской артезианской области.

На этой территории вскрыты три водоносных горизонта: грунтовые воды четвертичных отложений ( $Q_{III-IV}$ ) и старооскольских среднедевонских ( $D_{2st}$ ) отложений, напорный водоносный горизонт наровских ( $D_{2nr}$ ) среднедевонских отложений и ордовикский ( $O_{1-2}$ ) водоносный горизонт (Виноград, Степаненко, 2017).

### 1. Горизонт грунтовых вод четвертичных и старооскольских отложений

Горизонт грунтовых вод залегает в водовмещающих породах современного осадочного чехла (аллювиальные (al  $Q_{IV}$ ), элювиальные (e  $Q_{IV}$ ), флювиогляциальные (fg  $Q_{III}$ ) и моренные (g  $Q_{III}$ )) и песчаниках старооскольского горизонта ( $D_{2st}$ ). Разнообразие литологического состава оказывает влияние на водопроницаемость вмещающих пород, что отражается на эффективности колодцев. Грунтовые воды используются для полива и хозяйственно-питьевых нужд личных потребителей.

Глубина залегания грунтовых вод изменяется в широком диапазоне – от 2,5 до 28 м, что обуславливается геоморфологическим строением территории и мощностью отложений.

Горизонт вод активного водообмена является безнапорным, вскрывается многочисленными колодцами и скважинами. Зона питания горизонта располагается на водоразделах и реализуется за счет инфильтрации осадков.

Тип коллектора – поровый (современные отложения), пластово-трещинный в нижней части уплотненного девонского красноцветного песчаника. Фильтрационный поток ориентирован к реке. Абсолютные отметки уровня грунтовых вод (по данным 2019 г.) колеблются от 90 до 100 м.

Коэффициенты фильтрации в зоне аэрации от 0,76 до 1,34 м/сут, в зоне насыщения – около 1 м/сут.

Дебиты родников невелики,  $Q=0,0025$  л/с (0,22 м<sup>3</sup>/сут) (правый берег) и  $Q=0,15$  л/с (13 м<sup>3</sup>/сут) (левый берег р. Оредеж) (данные 2019 г.).

Воды по химическому составу в основном гидрокарбонатные, смешанного катионного состава. Состав зависит от местоположения водопункта.

По pH от слабощелочной до слабокислой (6,2-7,5).

Минерализация меняется от 0,180 до 0,963 г/л.

## **2. Наровский водоносный горизонт (D<sub>2nr</sub>)**

Горизонт является водоупорным в региональном плане, водоносным в локальном масштабе (база РГГМУ). Водовмещающие породы представлены сложно переслаивающимися толщами глин, песчаников, мергелей и известняков. Литологический состав пород различается как в вертикальном разрезе, так и по всей площади распространения наровского горизонта. Выделить водоносные и водоупорные толщи затруднительно. Мощность горизонта 20-25 метров.

На исследуемой территории базы РГГМУ водоносный горизонт вскрывается двумя скважинами:

- 1) Скважина перед въездом на базу;
- 2) Скважина на территории базы, в пойменной террасе реки Оредеж в 10 метрах от разрушенного моста.

Уровень воды устанавливается выше земной поверхности (+1 м).

Воды наровского горизонта не используются в целях хозяйственно-питьевого водоснабжения вследствие малой водообильности.

## **2. Ордовикский водоносный горизонт (O<sub>1-2</sub>)**

Водовмещающие породы представлены трещиноватыми и закарстованными известняками с тонкими прослоями доломитов и мергелей, мощностью от 10 до 55 м.

Горизонт вскрыт в районе исследовательских работ двумя скважинами, одна из которых активно используется для водоснабжения п. Батово (дебит скважины 345 м<sup>3</sup>/сут), другая – для водоснабжения учебно-научной базы РГГМУ (дебит меняется по сезонам года), обе скважины расположены на правом берегу р. Оредеж.

Область питания водоносного горизонта находится на северо-западе от рассмотренной территории, в пределах Ижорской возвышенности, где известняки ордовикского горизонта располагаются на поверхности земли, прямо под перекрывающими их маломощными четвертичными отложениями.

Разгрузка идет от центра Ижорской возвышенности к периферии, а также происходит в зоне погружения ордовикских известняков под девонские песчаники, сравнительно недалеко от района исследований.

По данным литературных и фондовых источников ниже располагаются отложения среднего и нижнего кембрия, верхняя часть которых является водоносным горизонтом, а нижняя - водоупором. Тип коллектора в песчанистом горизонте – поровый. Под кембрийскими отложениями залегает вендский горизонт. Отложения верхнекотлинского (Vkt<sub>2</sub>) горизонта являются водоупором, а нижнекотлинские отложения, сложенные

песками и песчаниками, являются водоносными. Горизонт напорный с поровым типом коллектора (гдовский водоносный горизонт (рис.4)).

Стратиграфические подразделения						Гидрогеологические подразделения																								
Акروتема	Эрогема	Система	Отдел	Ярус	Польюрус	Горизонт	Индекс	Мощность, м	Колонка	Индекс	Наименование Литологическая характеристика пород	Мощность, м	Глубина от поверхности земли, м	Глубина уровня водооттока, м	Напор над уровнем моря, м	Удельный дебит, л/с	Коэффициент водопроницаемости	Минерализация воды, г/лм	Преобладающий тип воды	Практическое назначение										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21										
Средний						Арукласский (Старооскольский)	D <sub>ar</sub>	40-130		2(D <sub>2ef</sub> )	Верхнеэфельский-нижефранский водоносный горизонт. Пески, песчаники с прослоями алевролитов и глин.	1-200	1-200 <sup>0</sup> до 500	(+0,7+10) -35	2-50	0,1-7,0	0,5-10,0 100-1000	1,6-2,0	SO <sub>4</sub> -Cl CaNa	Широко используется для водоснабжения населения, с/х и промышленных предприятий.										
						Наровский	D <sub>nr</sub>	25-60		4(D <sub>1ef</sub> , n <sub>1</sub> )	Верхнеэфельский (наровский) относительно водоупорный горизонт. Мергели, глины, доломиты.	5-60	6-100 <sup>0</sup> до 550	(+16)-17	15-45	0,02-1,0	0,03-0,05 <50	0,2-0,5 0,85-2,1	HCO <sub>3</sub> MgCa SO <sub>4</sub> -Cl CaNa	Эксплуатируется в ряде населенных пунктов Гостенского района.										
						Пярнуский	D <sub>pr</sub>	10-25		2(D <sub>2ef</sub> )	Нижнеэфельский водоносный горизонт. Песчаники, пески.	0,3-25	8-70 <sup>0</sup>	(+0,4+4,0) -21	8-64	0,13-2,2	0,2-3,0 —	0,1-0,3	HCO <sub>3</sub> MgCa	Используется ограничено из-за небольшой площади развития.										
						Набалаский	O <sub>nb</sub>	9-30		2(O <sub>13</sub> )	Ордовикский водоносный горизонт. Известняки, доломиты, прослои глин.	8-150	0,4-75 <sup>0</sup> до 550	(+1+10) -30	0-70	0,1-45	0,2-15,0 100-5000	0,3-0,9	HCO <sub>3</sub> MgCa	Cl-HCO <sub>3</sub> MgCa	2,1-3,0	SO <sub>4</sub> -Cl CaNa	Источник водоснабжения крупных городов: Красное Село, Гатчина, Домосов и др., а также поселков, станиц и т.д. Может использоваться в качестве минеральных лечебно-столовых вод.							
						Ракверский	O <sub>rk</sub>	17-25																						
						Оандуский	O <sub>on</sub>	до 20																						
						Кейлаский	O <sub>kl</sub>	8-35																						
						Йыхвиский	O <sub>jh</sub>	25																						
						Илаверский	O <sub>id</sub>	10-45																						
						Кукерский	O <sub>kk</sub>	25-40		4(O <sub>1t</sub> , k <sub>p</sub> -l <sub>t</sub> )	Тремудоский относительно водоупорный горизонт. Аргиллиты, песчаники, глины.	1,5-7,0	3-35	Относительный водоупор	3-40	5-300 <sup>0</sup> до 870	(+0,4+10) -20	3-250	0,1-3,0	0,1-5,0 100-560	0,3-0,6	HCO <sub>3</sub> MgCa	Cl Na SO <sub>4</sub> -Cl CaNa	Используется для водоснабжения местного населения						
Ухакусский	O <sub>uh</sub>	10-18																												
Ласнамягиский, Азериский	O <sub>2</sub> , a <sub>z</sub> -l <sub>s</sub>	10-15																												
Кундаский	O <sub>1</sub> , k <sub>n</sub>	5-28																												
Вошвский	O <sub>vl</sub>	4-20																												
Латориский	O <sub>lt</sub>	0,5-10																												
Варангуский	O <sub>wr</sub>	0,3-1,0 0,1-7,0																												
Пакерортский	O <sub>pk</sub>	12-15																												
Ладожский	E <sub>1</sub> , l <sub>d</sub>	0,3-3,0		2(E <sub>1</sub> -O <sub>1</sub> )	Кембро-ордовикский водоносный горизонт. Пески, песчаники.	3-40	5-300 <sup>0</sup> до 870	(+0,4+10) -20	3-250																0,1-3,0	0,1-5,0 100-560	0,3-0,6	HCO <sub>3</sub> MgCa	Cl Na SO <sub>4</sub> -Cl CaNa	Используется для водоснабжения местного населения
Дейменский	E <sub>1</sub> , d <sub>n</sub>	28-40																												
Вергалский	E <sub>1</sub> , v <sub>g</sub>	18-20																												
Доминопольский	E <sub>1</sub> , d <sub>m</sub>	10-15																												
Лонтоваский	E <sub>1</sub> , l <sub>n</sub>	до 120		3(E <sub>1</sub> , l <sub>n</sub> )	Нижнекембрийский (лонтоваский) водоупорный горизонт. Глины с редкими прослойками песчаников и алевролитов.	3-130	0-100 <sup>0</sup> до 900	Региональный водоупор	2-24	2-300 <sup>0</sup> до 950	3-40	1,5-350	0,001-2,5	0,01-3,0 <50-100	0,2-0,5	HCO <sub>3</sub> CaNa HCO <sub>3</sub> -Cl Na Cl Na	Служит источником водоснабжения в основном в Кингисеппском районе. Может использоваться в качестве минеральных вод.													
Котлинский	V <sub>2</sub> , k <sub>t</sub>	до 160		3(V <sub>2</sub> , k <sub>t</sub> )	Верхневедский (котлинский) водоупорный горизонт. Глины с редкими прослойками песчаников.	10-160	5-300 <sup>0</sup> до 1000	Региональный водоупор	5-70	60-200 до 1100	6-45	40-75	0,003-0,5	—	0,1-0,8	HCO <sub>3</sub> CaMgNa	Используют редко, т.е. об. при частной застройке, в индивидуаль. хозяйствах.													
Редкинский	V <sub>1</sub> , r <sub>d</sub>	10-20		8(V <sub>1</sub> )	Верхневедский (редкинский) относительно водоупорный горизонт. Глины, прослои песчаников, аргиллиты.	10-20	60-200 до 1100	О.В.	О.В.	0,1-3,0	О.В.	50-320	0,3-0,9	1,0-5,0	0,2-0,5 1,0-5,0	—	Пресные воды широко используются населенных пунктах Карельского перешейка. Состояние водоснабжения г.С.Петербурга и Рязань. Минеральные воды.	Используют редко, т.е. об. при частной застройке, в индивидуаль. хозяйствах. Широко используется для водоснабжения на Карельском перешейке.												
Рифей	Верхний	Средний	Р <sub>2,3</sub>	100-300		8(R)	Рифейский водоносный комплекс. Песчаники грубозернистые, аргиллиты, алевролиты.	100-300	5-300 <sup>0</sup> до 1300	(+1+11) -25	90-107	0,02-0,06	0,04-0,11	—	0,5-0,7	HCO <sub>3</sub> CaMgNa	Cl Na	Не используется.												
Архейный протерозой	AR-PR <sub>1</sub>	Более 500		14(AR+PR)	Архей-протерозойская относительно водоупорная зона. Граниты, гнейсы, магматиты, кварцито-песчаники.	>500	100-300 <sup>0</sup> до 1800	21,5	88,5	0,04-0,06	—	0,1	0,8	HCO <sub>3</sub> Na HCO <sub>3</sub> -Cl Na	Используется в единичных населенных пунктах на Карельском перешейке.															

Рис.4. Гидрогеологическая колонка центральной части Ленинградского артезианского бассейна



## Глава 3. Методы исследования

### 3.1. Методика определения химического состава природных вод

Для исследования химического состава вод активного водообмена выполнялся отбор проб воды на химический анализ. Изучение производилось в гидрогеохимической лаборатории СПбГУ. В лаборатории определялись макрокомпоненты ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ) и второстепенные компоненты ( $\text{Fe}$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ), а также жесткость, удельная электропроводность, окислительно-восстановительный потенциал и водородный показатель. Для определения макрокомпонентов и жесткости применяются титриметрические (объемные) методы химического изучения, для определения удельной электропроводности, Eh и pH – инструментальные. Расчетным методом определяются макрокомпоненты –  $\text{Mg}^{2+}$  и суммарно ( $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ). В 2018 – 2019 году было проанализировано 38 проб воды, а также 10 проб водных вытяжек.

#### Методика отбора проб воды

Перед проведением химического анализа воды производится пробоотбор. Объем пробы и характер консервации задается в зависимости от вида анализа и числа определяемых показателей. Некоторые из характеристик определяются непосредственно на месте отбора пробы.

Во время каждого предварительного шага в период от пробоотбора до анализа должны выполняться определенные требования согласно государственным стандартам, чтобы уменьшить возможность изменения состава проб. Пробы должны быть отобраны и изучены в согласовании с ГОСТ 31862-2012 «Вода питьевая. Отбор проб» для грунтовых вод из колодцев, скважин, родников.

#### Методика проведения химического анализа

Титриметрический (объемный) анализ – основан на измерении объема раствора известной концентрации (рабочего раствора), нужного для реакции с изучаемым веществом. Вычисления при титриметрическом исследовании воды основаны на законе эквивалентов, законе сохранения массы вещества при химических реакциях, законе всепостоянства состава. Реактив известной концентрации (рабочий раствор), который используют в титровании, называется стандартный титрованный раствор, либо титрант. Концентрация рабочего раствора выражается нормальностью, или титром.

Нормальность (эквивалентная концентрация, молярная концентрация эквивалентов вещества) – концентрация раствора, выраженная количеством химических эквивалентов

растворенного вещества, содержащегося в 1 л раствора ( $\Gamma$ -ион/ $\text{дм}^3$  или  $\Gamma$ -экв/ $\text{дм}^3$ ). Нормальную концентрацию обозначают N или n.

При определении главных макрокомпонентов в природных водах применяются методы титриметрического изучения, которые были основаны на последующих типах реакций – нейтрализации, осаждения и комплексообразования.

Во всех способах объемного изучения расчет итогов основан на том, что титрование проводится до точки эквивалентности, то есть до времени, когда объем добавляемого титранта становится строго равнозначен числовому количеству эквивалента изучаемого вещества в анализируемом растворе и согласуется с уравнением реакции. Во время завершения реакции (точка эквивалентности) затраченный на титрование объем титранта точно равен и химически эквивалентен объему изучаемого элемента. Точку эквивалентности устанавливают при помощи индикатора. В качестве индикаторов используют вещества, которые меняют расцветку в точке эквивалентности.

Способ нейтрализации основан на кислотно-щелочных реакциях между исследуемым веществом и титрантом с внедрением кислотно-основных индикаторов, изменение окраски которых случается зависимо от рН среды. Более распространенные индикаторы способа нейтрализации – метиловый оранжевый, фенолфталеин.

Методы комплексообразования заключаются на применении реакций, при которых происходит связывание ионов в крепкие комплексные соединения, для чего используются комплексоны, к примеру, трилон Б, образующий устойчивые растворимые комплексные соединения с большинством катионов. Чтоб сохранить равновесие реакции, нужно поддерживать постоянную рН среды. С этой целью используют буферные смеси, которые способны сохранять постоянную рН среды при разбавлении или добавлении небольших количеств кислот или щелочей. Титрование проводят в присутствии металлоиндикаторов (слабые органические кислоты), которые при образовании комплексов с ионами металлов меняют окраску.

Способы осаждения основаны на титровании веществ, которые образуют в определенной среде нерастворимые соединения. К примеру, при титровании хлоридов раствором нитрата серебра выпадает белый осадок хлорида серебра, а при титровании раствором нитрата закисной ртути – сулема (хлорид ртути). Титрование раствором нитрата серебра называют аргентометрией, титрование раствором нитрата закисной ртути – меркурометрией (Каюкова, Кузьмицкая, 2013).

### **Определение гидрокарбонат-ионов ( $\text{HCO}_3^-$ )**

Определение проводилось согласно ГОСТ 31957-2012 «Вода. Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов».

Суть способа – нейтрализация гидрокарбонатных ионов поочередным титрованием соляной кислотой в присутствии индикаторов фенолфталеина и метилового оранжевого.

Ход анализа  $\text{HCO}_3^-$

- 1) В обесцвеченной пробе титровать  $\text{HCO}_3^-$ , добавив несколько капель индикатора (0,1%) до получения светло-желтого оттенка;
- 2) Титровать раствор светло-желтого цвета 0,1N раствором соляной кислоты до кремово-розового оттенка.

Обработка результатов титрования гидрокарбонатов:

$$X = \frac{V_p * N_p * 1\ 000}{V_{пр}}$$

где  $X$  – концентрация  $\text{HCO}_3^-$  в мг-экв/л;

$V_p$  – объем титранта, потраченный на титрование;

$N_p$  – нормальность титранта;

$V_{пр}$  – объем пробы.

При расчете содержания компонентов в мг/л, необходимо концентрацию  $\text{HCO}_3^-$  в мг-экв/л умножить на эквивалентную массу гидрокарбонатов = 61 г/моль.

Все результаты заносятся в таблицу.

ПДК гидрокарбонат-ионов для водных объектов хозяйственно-питьевого водоснабжения составляет 1000 мг/л (СанПиН 2.1.4.1074-01..., 2008).

### **Определение содержания хлоридов ( $\text{Cl}^-$ )**

Определение проводилось согласно ПНД Ф 14.1:2.96-97 «Методика выполнения измерений массовой концентрации хлоридов в пробах природных и очищенных сточных вод аргентометрическим методом».

Суть метода – осадительное титрование, в результате которого хлорид-ион коагулируется в виде нерастворимого хлорида серебра.

Ход анализа  $\text{Cl}^-$  способом аргентометрии (метод Мора):

- 1) В 50 мл пробы добавляем 10 капель индикатора  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  (10%), получаем золотисто-желтый оттенок;
- 2) Титровать  $\text{AgNO}_3$  (0,05-0,1N) до перехода окраски вещества с взвешенными частицами из золотисто-желтого в рыже-бурую;

Рыже-бурый оттенок раствору приносит осадок – хромат серебра, возникающий при образовании в веществе ионов серебра, не связанных в осадок  $\text{AgCl}$ .

Обработка результатов титрования хлоридов методом Мора:

$$X = \frac{V_p * N_p * 1\ 000}{V_{пр}}$$

где  $X$  – концентрация  $Cl^-$  в мг-экв/л;

$V_p$  – объем титранта, потраченный на титрование;

$N_p$  – нормальность титранта;

$V_{пр}$  - объем пробы.

При расчете содержания компонентов в мг/л, необходимо концентрацию  $Cl^-$  в мг-экв/л умножить на эквивалентную массу хлора = 35,45 г/моль.

ПДК хлоридов для водных объектов хозяйственно-питьевого водоснабжения составляет 350 мг/л (СанПиН 2.1.4.1074-01..., 2008).

#### ***Определение величины общей жесткости ( $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ )***

Определение велось согласно ПНД Ф 14.1:2.98-97 «Методика выполнения измерений жесткости в пробах природных и очищенных сточных вод титриметрическим методом».

Сущность метода – образование прочных комплексов с трилоном Б.

Титрование проводят в присутствии индикатора (эриохром черный Т), который образует с кальцием бесцветный комплекс и с магнием – винно-красный комплекс. При титровании трилон Б связывает сначала свободные ионы кальция, а затем свободные ионы магния. В точке эквивалентности происходит полное разрушение комплекса. Свободный индикатор эриохром черный окрашивает водный раствор в синий цвет.

Ход анализа жесткости:

- 1) 50 мл пробы + 5 мл буфера + 5-8 мг эриохрома черного;
- 2) Титровать трилоном Б (0,05-0,1N), тщательно перемешивая пробу до изменения окраски от винно-красной до синей. На приближение точки эквивалентности указывает фиолетовый цвет пробы.

Обработка результатов титрования жесткости:

$$X = \frac{V_p * N_p * 1\ 000}{V_{пр}}$$

где  $X$  – жесткость, мг-экв/л;

$V_p$  – объем титранта, потраченный на титрование;

$N_p$  – нормальность титранта;

$V_{пр}$  - объем пробы.

ПДК общей жесткости для водных объектов хозяйственно-питьевого водоснабжения составляет 7 мг-экв/л (СанПиН 2.1.4.1074-01, 2008).

### ***Определение содержания ионов кальция ( $Ca^{2+}$ ) и магния ( $Mg^{2+}$ )***

Определение велось согласно ПНД Ф 14.1:2.95-97 «Методика выполнения измерений массовой концентрации кальция в пробах природных и очищенных сточных вод титриметрическим методом».

Сущность метода – упомянутое выше образование прочных комплексов с трилоном Б. Титрование проводят в присутствии индикатора мурексид. В щелочной среде свободный мурексид имеет лиловую окраску, а комплекс кальция с мурексидом розовый цвет.

Ход анализа  $Ca^{2+}$ :

- 1) Проба 50 мл + 2 мл NaOH (2N), чтобы создать щелочную среду pH= 12;
- 2) Добавить 10-15 мг смеси мурексида, получаем розовый цвет;
- 3) Титровать трилоном Б до лиловой окраски;

Обработка результатов титрования кальция:

$$X = \frac{V_p * N_p * 1\ 000}{V_{пр}}$$

Где X – концентрация  $Ca^{2+}$ , мг-экв/л;

$V_p$  – объем титранта, потраченный на титрование;

$N_p$  – нормальность титранта;

$V_{пр}$  - объем пробы.

При пересчете содержания компонентов в мг/л, необходимо концентрацию  $Ca^{2+}$  в мг-экв/л умножить на эквивалентную массу кальция = 20 г/моль.

ПДК кальция для водных объектов хозяйственно-питьевого назначения составляет 200 мг/л (СанПиН 2.1.4.1074-01..., 2008).

Магний определяется расчетным способом в мг-экв/л. Из концентрации общей жесткости вычитаем концентрацию кальция, чтобы перевести в мг/л полученное значение, умножаем на эквивалентную массу магния = 12 г/моль.

ПДК магния для водных объектов хозяйственно-питьевого водоснабжения составляет 100 мг/л (СанПиН 2.1.4.1074-01..., 2008).

### ***Определение содержания ионов натрия ( $Na^+$ )***

Концентрация  $Na^+$  вычисляется аналогично  $Mg^{2+}$ , только в расчет берутся полученные значения анионов и катионов, результат получаем в мг-экв/л. Чтобы получить значение в мг/л, умножаем на эквивалентную массу натрия = 23 г/моль.

ПДК натрия для водных объектов хозяйственно-питьевого назначения составляет 200 мг/л (СанПиН 2.1.4.1074-01..., 2008).

### ***Определение содержания сульфат-ионов ( $SO_4^{2-}$ )***

Определение велось согласно РД 52.24.483-2005 «Массовая концентрация сульфатов в водах. Методика выполнения измерений гравиметрическим методом».

Определение массовой концентрации сульфатов гравиметрическим методом основано на измерении массы осадка сульфата бария, образующегося при взаимодействии сульфат-ионов с хлоридом бария в слабокислой среде.

В лаборатории из каждой емкости с исследуемой водой берут 2 пробы объемом 50 мл. Далее добавляют 1 – 2 капли раствора метилоранжа и по каплям раствор соляной кислоты 1:1 до перехода окраски в розовую. Смесь нагревают до кипения, затем при непрерывном перемешивании стеклянной палочкой прибавляют по каплям 3 мл раствора хлорида бария. Дают пробе немного отстояться, накрывают стакан часовым стеклом и оставляют при комнатной температуре до следующего дня.

На следующий день жидкость над осадком, не взмучивая последний, фильтруют через фильтр «синяя лента», который предварительно промывают горячей дистиллированной водой.

Осадок сульфата бария 2 - 3 раза промывают декантацией, для чего заливают 20 - 30 мл горячей дистиллированной воды, перемешивают стеклянной палочкой, затем дают отстояться. Промывается проба до полного осаждения на фильтре вещества.

Осадок на фильтре осторожно промывают несколько раз небольшими порциями горячей дистиллированной воды до отрицательной реакции на наличие хлоридов, проверяют раствором нитрата серебра. При образовании мути хлорида серебра промывание осадка продолжают.

Фильтр с осадком переносят в предварительно прокалённый до постоянной массы и взвешенный тигель, высушивают, затем осторожно обугливают на электроплитке или в открытой муфельной печи, не допуская воспламенения бумаги, и прокаливают при 800 °С до тех пор, пока осадок не станет белым. Охлаждённый тигель с осадком взвешивают.

Массовую концентрацию сульфатов в анализируемой пробе воды находят по формуле:

$$X = 1,03 \frac{(m_1 * m_2) * 0,4115 * 1\ 000}{V} + 4$$

Где  $X$  - массовая концентрация сульфатов в анализируемой пробе воды, мг/дм<sup>3</sup>;

$m_1$  - масса тигля с осадком, мг;

$m_2$  - масса тигля, мг;

0,4115 - фактор пересчёта;

V - объём аликвоты пробы воды, взятый для анализа, см<sup>3</sup>;

4; 1,03 - поправки, учитывающие потери сульфатов в процессе анализа.

Далее все результаты заносятся в таблицу.

ПДК сульфатов для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования составляет 500 мг/л, рыбохозяйственного назначения – 100 мг/л (СанПиН 2.1.4.1074-01..., 2008).

**Потенциометрический метод** основан на электродной реакции, в результате которой на границе раздела устанавливается равновесный потенциал, величина которого зависит от активности анализируемых ионов в растворе. Приборы для измерения pH растворов строятся по принципу вольтметра с высоким сопротивлением.

#### ***Определение содержания нитратов ( $NO_3^-$ )***

Измерение содержания нитратов проводилось с помощью иономера И-500 (производитель ЗАО «Аквилон»). Использовались электрод сравнения ЭСР-10100 и нитрат-селективный электрод ЭЛИС - 121NO<sub>3</sub>. Измерительный электрод был откалиброван в диапазоне от 0 до 200 мг/л содержания NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Калибровка измерительного электрода проводилась согласно инструкции по эксплуатации электродов. Результат получали в мг/л.

ПДК нитратов для водных объектов хозяйственно-питьевого составляет 45 мг/л (СанПиН 2.1.4.1074-01..., 2008).

**Колориметрический метод** – визуальный метод фотометрического анализа, основанный на установлении концентрации растворимого окрашенного соединения по интенсивности или оттенку его окраски. Этим методом определялось содержание иона аммония, нитритов, фосфатов и общего железа.

Измерение проводилось с помощью колориметра HACH DR-890. Использовались не готовые программы, встроенные производителем для стандартных реактивов, а программировались свободные каналы согласно рекомендациям нормативных документов.

#### ***Определение содержания иона аммония ( $NH_4^+$ )***

Определение велось согласно ПНД Ф 14.1:2.1-95 «Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации ионов аммония в природных и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Несслера».

К исследуемой пробе прибавляют 1-2 капли раствора сегнетовой соли и 1 мл реактива Несслера. Затем ждут 15 - 20 минут до проявления окраски. Если в пробе присутствует ион аммония, то проба окрашивается в желтый цвет с разной интенсивностью. Интенсивность окраски прямо пропорциональна концентрации ионов аммония в растворе пробы.

Концентрации измерялись с помощью фотоколориметра НАСН DR-890, результат получали в мг/л.

ПДК иона аммония для водных объектов хозяйственно-питьевого составляет 2,5 мг/л. (СанПиН 2.1.4.1074-01..., 2008).

#### ***Определение содержания фосфат-ионов ( $PO_4^{3-}$ )***

**Определение** велось согласно ПНД Ф 14.1;2.112-97 «Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации фосфат-ионов в природных и сточных водах фотометрическим методом восстановлением аскорбиновой кислотой».

К исследуемой пробе прибавляют 5 мл смешанного реактива (125 мл раствора серной кислоты, 50 мл раствора молибдата аммония, 50 мл раствора аскорбиновой кислоты и 25 мл раствора антимоилтартрата калия) и 0,5 мл аскорбиновой кислоты. Затем ждут 15 - 20 минут до проявления окраски. Если в пробе присутствуют фосфаты, она окрашивается в голубой цвет.

Содержание фосфатов измерялось с помощью фотоколориметра НАСН DR-890, результат получали в мг/л.

ПДК фосфат-иона для водных объектов хозяйственно-питьевого составляет 3,5 мг/л (СанПиН 2.1.4.1074-01..., 2008).

#### ***Определение количества общего железа ( $Fe_{общ}$ )***

Определение велось согласно ПНД Ф 14.1:2.2-95 «Методика выполнения измерений массовой концентрации общего железа в природных и сточных водах фотометрическим методом с о-фенантролином».

Во время пробоотбора пробы предварительно консервировались HCl для предотвращения осаждения железа.

К исследуемой пробе объемом 50 мл приливают 1 мл 10 % раствора гидрохлорида гидроксиламина и кипятят до уменьшения объема примерно на половину. Далее пробу охлаждают. Затем прибавляют 10 мл ацетатно-аммонийного буферного раствора и 2 мл о-фенантролина и доводят до метки дистиллированной водой. Тщательно перемешивают и оставляют на 10-15 минут до полного развития окраски.



Для измерений использовался фотоколориметр НАСН DR-890, результат получали в мг/л.

ПДК общего железа для водных объектов хозяйственно-питьевого составляет 0,3 мг/л (СанПиН 2.1.4.1074-01..., 2008).

### **3.2. Методика изучения состава и свойств грунта**

Определение параметров и состава грунта имеет огромное значение в практике исследовательских работ инженерной гидрогеологии. Исследование параметров и состава грунтов включает три шага: отбор и хранение образца; оформление и расчет результатов исследования.

#### ***Отбор образцов грунта***

Отбор образцов грунта выполняется в процессе инженерно-геологических изысканий в поле. Частота опробования зависит от детальности и назначения инженерных работ, от изменчивости грунта. Надежность и верность данных лабораторных исследовательских работ в большой степени зависит от метода отбора проб, их упаковки, транспортировки и хранения.

Отбор образцов рыхлого грунта для гранулометрического анализа выполняется без сохранения изначальной структуры в пакеты из плотной ткани или полиэтиленовой пленки, а также в плотную водостойкую бумагу и т.д. Объем образцов должен обеспечивать лабораторный анализ необходимым материалом: для глинистых и песчаных грунтов 1 – 1,5 кг; для гравия и дресвы 1,- 3 кг, а для галечника и щебня 3,0 – 4,0 кг.

Любая проба обязана сопровождаться этикеткой, в какой записываются последующие сведения: наименование организации или партии; место взятия пробы (наименования объекта); глубина отбора; краткое визуальное описание; фамилия отобравшего пробу; дата отбора грунта. При транспортировке образцы упаковываются плотно в ящики так, пустоты заполняются бумагой пупырчатой пленкой, для того чтобы исключить механические воздействия на их состав.

#### **Методы изучения гранулометрического состава рыхлых грунтов**

Все методы гранулометрического анализа могут быть разделены на прямые и косвенные. Прямые методы дают возможность свободно выделять отдельные фракции, взвешивать их и выдавать их весовую долю. Косвенные заключаются на зависимости свойств грунта от его гранулометрического состава. Исследуя свойства грунта в конкретных условиях, определяют их гранулометрический состав.

### ***Визуальный метод***

Визуальный метод гранулометрического анализа является наиболее простым и наименее детальным. В основе его лежит непосредственное испытание грунта на механические свойства при разных величинах влажности в соответствии с данными таблицы М. М. Филатова. Если исследуемый грунт относится к пескам и к гравиям, то его название может быть уточнено по размерам зерен.

### ***Ситовой метод***

Ситовой метод применяется для разделения и взвешивания больших фракций (более 0,1 – 0,25 мм). Производится он при помощи набора сит с отверстиями 10; 7; 5; 3; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,10 мм. Первые 6 сит должны быть штампованными или сверленными с отверстиями круглой формы. Остальные сита выполнены из медной сетки обычного плетения. Сита размещаются в колонку так, что отверстия уменьшаются сверху вниз. Под нижнее сито подставляется поддон, а верхнее запирается крышкой.

Необходимое оборудование: набор стандартных сит; технические весы; фарфоровая ступка с пестиком; пластмассовый стаканчик; лист бумаги размером 1x1 м; рабочий журнал со страницами, выполненными в виде таблицы результатов ситового анализа (Тихомиров, 1990).

### ***Порядок выполнения анализа***

Определение велось согласно ГОСТ 12536-2014 «Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава».

1. Образец грунта высыпает тонким слоем на лист белой бумаги и высушивают до воздушно-сухого состояния.
2. Определяют вес стакана, который используется при анализе, с точностью до 0,01 г.
3. Берут навеску грунта весом от 200 до 3000 г (для грунтов с частицами размером менее 2 мм – 200 г; с гравием и галькой до 10 % веса образца – 500 г; с гравием и галькой от 10 до 30 % веса образца – 2000 г; с гравием и галькой более 30 % веса – 3000 г). Навеску отбирают квартованием. Для этого пробу, равномерно рассыпанную тонким слоем, делят на четыре равные части (квадранты). Две части удаляют, а оставшиеся вновь распределяют по листу бумаги и делят на четыре части. Так поступают до тех пор, пока не останется необходимый для навески вес.
4. Приготовленную навеску нужно проверить относительно наличия слипшихся комочков. Комочки растирают в ступке резиновым наконечником, не нарушая структуры самих зерен.
5. Навеску пересыпают во взвешенный стакан и устанавливают их вес на технических весах с погрешностью до 0,01 г. Итог заносят в журнал.

6. Берут набор сит, визуально осматривают сита, убирают из них сторонний грунт и размещают их на столе так, чтобы размер отверстий в колонке увеличивался снизу вверх.
7. Навеску грунта помещают в самое верхнее сито, закрывают крышкой и аккуратно трясут, просеивают грунт до полной сортировки частиц по фракциям.
8. Верхнее сито снимают и дополнительно просеивают на лист чистой бумаги. Просеявшиеся на лист бумаги частицы переводят в следующее сито, а частицы, оставшиеся в сите, пересыпают в стакан. Стакан с фракцией взвешивается на технических весах с точностью 0,01 г. Результат вносится в журнал. Эти операции повторяются с каждым ситом в последовательности убывания их отверстий. В результате этих операций определяются веса фракций в соответствии с размерами отверстий в ситах: 10 мм – более 10 мм; 7 мм – от 7 до 10 мм; 5 мм – от 5 до 7 мм; 3 мм – от 3 мм до 5 мм; 2 мм – от 2 до 3 мм; 1 мм – от 1 до 2 мм; 0,5 мм – от 0,5 до 1 мм; 0,25 мм – от 0,25 до 0,5 мм; 0,1 мм – от 0,1 до 0,25 мм.
9. Фракцию, собравшуюся в поддоне, также переводят в стакан, взвешивают и сохраняют при необходимости для более тонкого гранулометрического анализа. Фракция в поддоне включает частицы размером меньше отверстий самого нижнего сита (менее 0,1 мм). Если эта фракция составляет более 10 % веса образца, необходим дополнительный гранулометрический анализ для разделения ее на более мелкие фракции.
10. Основываясь на данных изучения, записанных в журнал, делается расчет гранулометрического состава. Сначала рассчитывается вес каждой фракции. Данный вес определяется как разность между весом стакана с фракцией и весом стакана. Потом определяется содержание каждой фракции относительно веса образца, используя уравнение:

$$C = \frac{A * 100\%}{B}$$

где С – содержание фракции в грунте, %; А – вес фракций, г; В – вес исходной навески, г. Расчет гранулометрического анализа завершается суммированием содержания отдельных фракций, начиная с наименьшей, так чтобы получить весовое содержание следующих фракций: менее 0,1 мм; 0,25 мм; 0,5 мм; 1 мм; 2 мм; 3 мм; 5 мм; 7 мм; менее 10 мм; всех фракций.

Окончательная величина суммирования характеризует долю всех выделенных фракций от веса начальной навески. Поэтому отличие этой величины от ста процентов

характеризует общую ошибку изучения. Данная разница не может превосходить один процент.

### ***Обработка результатов гранулометрического анализа***

Оформление итогов гранулометрического исследования необходимо для наглядной графической характеристики состава грунта, определения его характерных параметров.

Оформление начинается с определения наименования грунта в соответствии с принятыми классификациями. Классификации грунтов позволяют выделить в ряду их неограниченного разнообразия близкие по гранулометрическому составу и свойствам и объединить их в группы. Название этих групп определяются обычно названием преобладающей фракции. Самую грубую классификацию грунтов определяет визуальный метод определения их состава. Согласно этой классификации, различают глины, суглинки, супеси, пески и гравий. Для более дробного разделения грунтов необходимы результаты инструментальных гранулометрических анализов.

Гранулометрический состав грунта графически выражается в виде дифференциальной гистограммы или интегральной кривой. Наиболее распространенным способом графического изображения состава грунта является интегральная кривая, построенная в системе нормальных или полулогарифмических шкал координат. Этот способ графического изображения результатов анализа не зависит от выбранных диапазонов размера фракций и позволяет определять действующий (эффективный) и контролирующий диаметры частиц, а также коэффициент неоднородности. Последний необходим для эмпирических методов определения свойств грунта. При построении интегральной кривой в нормальном масштабе на оси абсцисс откладываются диаметры частиц в миллиметрах, а на оси ординат весовое содержание фракций меньше указанного размера в процентах. Каждая кривая гранулометрического состава грунта сопровождается величинами действующего (эффективного) диаметра, контролирующего диаметра и коэффициента неоднородности.

Под действующим или эффективным диаметром понимается максимальный диаметр наименьших частиц, составляющих 10 % от веса грунта. Контролирующий диаметр является максимальным в совокупности фракций, составляющих 60 % веса грунта.

Для определения величин этих диаметров на интегральной кривой гранулометрического состава проводятся горизонтальные прямые линии, соответствующие 10 % и 60 % веса, на оси ординат. Из точек пересечения этих прямых

с кумулятивной кривой опускают перпендикуляры до оси абсцисс. Точки пересечения перпендикуляров с осью абсцисс определяют соответствующие значения действующего и контролирующего диаметра (Тихомиров, 1990).

Коэффициент неоднородности представляет собой величину отношения контролирующего диаметра к действующему:

$$C_u = d_{60}/d_{10}$$

### **Определение влажности грунта**

Влажностью называется относительное фактическое содержание влаги в грунте. Влажность грунтов измеряется в объемных или весовых единицах.

Необходимое оборудование: аналитические весы; бюксы; сушильный шкаф; эксикатор; журнал для регистрации в виде таблицы.

Порядок проведения анализа:

- 1) Записывают в журнал номер образца, дату анализа, название грунта.
- 2) Взвешивают на аналитических весах с точностью 0,001 г. пустой бюкс. Вес регистрируют в журнале.
- 3) Из середины образца грунта берут и помещают во взвешенный бюкс навеску менее 15 г. Определяют на аналитических весах вес навески с бюксом и записывают его в журнал.
- 4) Взвешенный бюкс с навеской помещают в сушильный шкаф и выдерживают его там с приоткрытой крышкой при температуре 100-105 градусов. Грунт взвешивается до постоянного веса, который контролируется периодическим взвешиванием через 4 - 5 часов. Перед взвешиванием бюкс с грунтом остужают в эксикаторе. Постоянный наименьший вес бюкса с грунтом заносится в журнал.
- 5) Для каждого образца влажность определяется не менее двух раз.
- 6) Влажность рассчитывается на основании уравнения

$$W = \frac{g_1 - g_2}{g_2 - g_0} 100;$$

где, W – весовая влажность грунта, %;  $g_1$  – вес бюкса с влажным грунтом, г;  $g_2$  – вес бюкса с абсолютно сухим грунтом, г;  $g_0$  – вес пустого бюкса, г.

Расхождение между параллельными определениями влажности одного образца не должно превышать 2%.

## *Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки*

Определение велось согласно ГОСТ 26423-85 «Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки».

Сущность метода заключается в извлечении водорастворимых солей из почвы дистиллированной водой при отношении почвы к воде 1:5 и определении удельной электрической проводимости водной вытяжки с помощью кондуктометра и рН с помощью рН-метра.

### *1. Метод отбора проб*

1.1. Пробы грунта доводят до воздушно-сухого состояния, измельчают, пропускают через сито с круглыми отверстиями диаметром 1-2 мм и хранят в коробках или пакетах.

Пробу на анализ из коробки отбирают шпателем или ложкой, предварительно перемешав грунт на всю глубину коробки. Из пакетов грунт высыпают на ровную поверхность, тщательно перемешивают и распределяют слоем толщиной не более 1 см. Пробу на анализ отбирают не менее чем из пяти мест. Масса пробы - 30 г.

### *2. Аппаратура, материалы и реактивы*

2.1. Для проведения анализа применяют: кондуктометр с диапазоном измерений 0,01 - 100 мСм/см и погрешностью измерений не более 5 %; весы лабораторные 2-го класса точности с наибольшим пределом взвешивания 200 г и 4-го класса точности с наибольшим пределом взвешивания 500 г по ГОСТ 24104-80; взбалтыватель с возвратно-поступательным движением с частотой колебаний 75 мин<sup>-1</sup>, или ротатор с оборотом на 360°, или пропеллерную мешалку с частотой вращения лопастей 700 мин<sup>-1</sup> для перемешивания почвы с водой; весы квадрантные с устройством пропорционального дозирования ВКПД-40 г с погрешностью взвешивания не более 2 %; рН-метр или иономер с погрешностью измерений не более 0,05 рН; электрод стеклянный для определения активности ионов водорода; электрод сравнения хлорсеребряный насыщенный образцовый 2-го разряда по ГОСТ 17792-72 или аналогичный; дозаторы с погрешностью дозирования не более 2 % или цилиндры 2-го класса точности по ГОСТ 1770-74; кассеты десятипозиционные с емкостями вместимостью 200 см<sup>3</sup> или колбы конические вместимостью 250 см<sup>3</sup> по ГОСТ 25336-82; установки фильтровальные десятипозиционные или воронки стеклянные по ГОСТ 25336-82; посуду мерную лабораторную стеклянную по ГОСТ 1770-74; пипетки 2-го класса точности по ГОСТ 20292-74; стаканы химические вместимостью 50 см<sup>3</sup> по ГОСТ 25336-82; чашки фарфоровые диаметром 7 см; термометр лабораторный с диапазоном измерений 15-30°C и ценой делений 1°; термостат с автоматической регулировкой, обеспечивающий температуру нагревания 105°C; баню водяную; бумагу фильтровальную по ГОСТ 12026-

76; калий хлористый по ГОСТ 4234-77, х. ч.; стандарт-титры для приготовления образцовых буферных растворов 2-го разряда по ГОСТ 8.135-74; воду дистиллированную по ГОСТ 6709-72 с удельной электрической проводимостью не более  $5 \cdot 10^{-6}$  мСм/см.

### *3. Проведение анализа*

#### 3.1. Приготовление водной вытяжки из почвы

Пробы грунта массой 30 г, взвешенные с погрешностью не более 0,1 г, помещают в емкости, установленные в десятипозиционные кассеты или в конические колбы. К пробам приливают дозатором или цилиндром по  $150 \text{ см}^3$  дистиллированной воды. Грунт с водой перемешивают в течение 3 мин на взбалтывателе, ротаторе или с помощью пропеллерной мешалки и оставляют на 5 мин для отстаивания.

При использовании весов пропорционального дозирования экстрагента допускается отбор пробы массой 25-30 г.

Допускается пропорциональное изменение массы пробы грунта и объема дистиллированной воды при сохранении отношения между ними 1:5 и при погрешности дозирования не более 2 %.

#### 3.2. Определение электрической проводимости

После 5-минутного отстаивания в суспензию погружают датчик кондуктометра и определяют электрическую проводимость. После каждого определения датчик тщательно промывают дистиллированной водой.

Если прибор не имеет автоматического температурного компенсатора, определяют температуру анализируемых вытяжек или дистиллированной воды, находящейся в тех же условиях. При отсутствии кондуктометра определяют плотный остаток вытяжки.

#### 3.3. Измерение pH

Часть грунтовой суспензии, полученной по п. 3.1, объемом  $15-20 \text{ см}^3$  сливают в химический стакан вместимостью  $50 \text{ см}^3$  и используют для измерения pH.

Настройку pH-метра проводят по трем буферным растворам с pH 4,01, 6,80 и 9,18, приготовленным из стандарт-титров. Показания прибора считывают не ранее чем через 1,5 мин после погружения электродов в измеряемую среду, после прекращения дрейфа измерительного прибора. Во время работы настройку прибора периодически проверяют по буферному раствору с pH 6,86.

## **Глава 4. Гидрохимическая характеристика основных водоносных горизонтов участка**

Исследуемая территория является довольно изученной в геолого-гидрогеологическом отношении, но есть гидрогеологические параметры, которые требуют непрерывного мониторинга в связи со своей изменчивостью. К ним относятся и компоненты химического состава подземных вод.

В пределах изученного геологического разреза в четвертичных и дочетвертичных отложениях выделяются: грунтовые воды (водоносный горизонт старооскольских и четвертичных отложений ( $D_{2st} + Q$ )), наровский водоносный горизонт ( $D_2 nr$ ), ордовикский водоносный комплекс ( $O_{1-3}$ ).

### **4.1. Грунтовые воды (водоносный горизонт старооскольских и четвертичных отложений ( $D_{2st} + Q$ ))**

Грунтовые воды вскрываются на участке в большом количестве частными и общественными колодцами, неглубокими скважинами (левый берег р. Ордеж, деревня Даймище), а также каптированными родниками и пластовыми высачиваниями. На правом берегу, в районе размещения базы РГГМУ, для осуществления учебных гидрогеологических практик специально пробурен куст скважин на грунтовые воды, из которого ежегодно отбираются пробы воды на химический анализ.

Правый берег реки – коренной, водомещающие породы представлены красноцветными песками и песчаниками ( $D_{2st}$ ), которые перекрываются четвертичными отложениями разного генезиса. Левый берег террасирован, колодцами вскрываются воды пойменной террасы, сложенной современными аллювиальными отложениями, и надпойменных террас, представленных моренными бурыми супесями и суглинками ( $Q_{пг1}$ ), а также песчаниками и песками четвертичных отложений разного генезиса. В основании на разной глубине (от 3 до 15 м) залегают старооскольские красноцветные песчаники.

Пробы грунтовых вод отбирались и анализировались ежегодно с 2007 по 2019 год в летний период, в 2017 году производился зимний отбор проб. Обычно опробовалось 20-40 водопунктов. Некоторые результаты химического анализа представлены в таблице 1.



Таблица 1

## Результаты химического анализа грунтовых вод

Год	Содержание макрокомпонентов, мг/л								Общая минерализация мг/л
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
Родник «Нитратный», левый берег р. Оредеж									
2007	128,1	48,8	20	60	27	42	0	197	523
2009	172,6	18,4	27,9	41	15,9	12,8	0,24	164	453
2013	137,2	37,2	30	42	18	6,9	<0,05	103	374
2015	136	31,2	27,2	37,2	30	38,5	<0,05	47	347
2016	126,3	35,5	26,3	37	15,5	46,4	<0,05	90	377
2017	147	31,9	22,8	37,2	17,3	44,6	<0,05	85	386
2018	170,8	28,3	19,5	15,7	13,1	49,3	<0,05	45	297
2019	138,4	37,2	14,2	24,4	15,8	24,8	<0,05	49	304
Колодец, Большой пр.81, левый берег р. Оредеж									
2007	175,1	88,8	20	70	23,6	47,4	0	108	533
2009	201,3	21,3	5,5	45	14,4	13	0,37	67	367
2013	204,4	28,4	8	41,5	18,9	15,2	<0,05	53	369
2015	170,8	45,7	14,6	41,4	24,3	28,5	0,1	34	359
2016	190,9	35,5	8,4	46,4	15,6	44,5	<0,05	72	414
2017	206,2	31,9	7,5	53,2	14,6	50,4	<0,05	93	456
2018	189,1	21,2	7,2	29,8	2,8	48,9	<0,05	44	343
2019	187,7	22,8	7,3	44,7	4,3	29,4	<0,05	40	336
Колодец, ул. Набережная 40, пойма левого берега р. Оредеж									
2007	183	31,9	62	54	15,6	56,3	0,11	78	481
2009	24,4	13,1	44,73	38	14,8	56,8	3,06	242	437
2013	103,7	10,6	1	43	19,8	51,1	1	248	477
2015	29,3	10,3	27,98	23,6	7,56	22,32	<0,05	89	210
2016	37,8	9,2	20,2	23	6,12	43,6	<0,05	135	275
Родник у спорткафедры, база РГГМУ, правый берег р. Оредеж									
2007	115,9	9,8	9,6	17	17,4	1,84	0	0	172
2009	112,9	4,3	5,5	19	12,6	1,9	0	2,7	159
2013	97,6	7,1	3	17	9,6	4,8	<0,05	0,9	140
2015	118,3	4,96	13,1	21,8	9,5	10,9	<0,05	0,3	178
2016	122	5,7	18,1	21,6	11,8	11,8	<0,05	0,6	192
2018	103,7	5,5	18,4	19,4	1,4	26,6	<0,05	0,4	175
2019	120,6	7,9	21,6	17,8	14,6	13,3	<0,05	0,6	169

Формулы Курлова (2019 г.):

Родник «Нитратный»:

$$M_{0,3} \frac{HCO_3^- 52 NO_3^- 24 Cl^- 24}{Mg^{2+} 36 Ca^{2+} 34 (Na^+ + K^+) 30}^{pH}$$

Колодец, Большой пр. 81:

$$M_{0,34} \frac{HCO_3^- 68 NO_3^- 25 Cl^- 14}{Ca^{2+} 58 (Na^+ + K^+) 33 Mg^{2+} 9}$$

Формулы Курлова (2016 г.):

Колодец, ул. Набережная 40:

$$M_{0,27} \frac{NO_3^- 63 HCO_3^- 18 SO_4^{2-} 12}{(Na^+ + K^+) 52 Ca^{2+} 33 Mg^{2+} 15}$$

Родник у спорткафедры:

$$M_{0,19} \frac{HCO_3^- 79 SO_4^{2-} 15 Cl^- 6}{Ca^{2+} 42 Mg^{2+} 38 (Na^+ + K^+) 20}$$

Химический состав грунтовых вод левого и правого берега реки Оредеж существенно отличается.

Грунтовые воды на правом берегу р. Оредеж по химическому составу гидрокарбонатные магниевые-кальциевые, пресные, мягкие. Здесь мощность четвертичных отложений невелика, большую часть зоны активного водообмена занимают коренные отложения. Вследствие малой населенности территории грунтовые воды сохраняют в основном естественный состав.

Для левого берега р. Оредеж, представленного четвертичными отложениями, общая минерализация варьирует от 100 до 521 мг/л. Вода мягкая, общая жесткость составляет около 2,5 мг-экв/л.

Макрокомпонентный состав в точках наблюдения на левом берегу р. Оредеж резко отличается от того, который наблюдается на правом берегу. В большинстве точек наблюдения фиксируется превышение ПДК по содержанию нитратов. Так, в роднике «Нитратный» и колодце на Большом пр., 81 воды по химическому составу гидрокарбонатные натриево-кальциевые (магниево-кальциевые). В таблице 2 представлены данные о содержании нитратов в роднике «Нитратный» за 2007-2019 гг., а

на рисунке – график изменения содержания нитратов в роднике «Нитратный» (рис. 5).

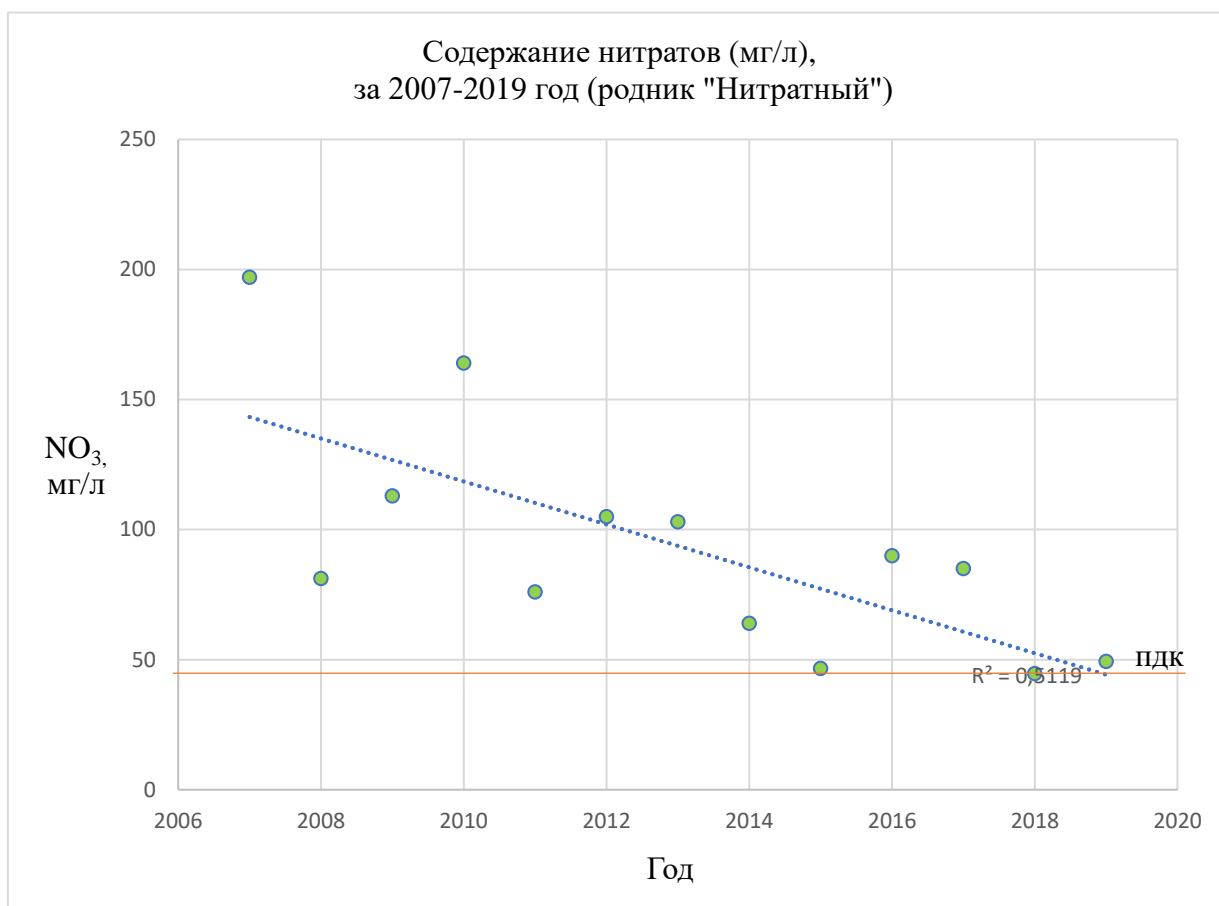


Рис. 5. График изменения содержания нитратов в роднике «Нитратный»

Таблица 2

Содержание нитратов в роднике «Нитратный»

Год опробования	Содержание нитратов (мг/л)
2007	197
2008	81,2
2009	113
2010	164
2011	76
2012	105
2013	103
2014	64
2015	46,6
2016	90
2017	85
2018	44,7
2019	49,3

Во многих пробах воды, отбираемых из четвертичных отложений левого берега, наблюдается превышение ПДК по нитратам, основным источником которых являются органические удобрения, выгребные ямы. Загрязнение легко проникает с поверхности в хорошо проницаемые не связанные рыхлые современные отложения. С 2007 года наблюдается тенденция к уменьшению содержания нитратов в роднике, но до сих пор значение превышает ПДК. Относительно высокое содержание ионов аммония, зафиксированное в 2009 году наряду с высоким содержанием нитратов, может свидетельствовать о поступлении в этот год свежего загрязнения. Это могли быть отходы птицефабрики «Оредеж».

Грунтовые воды слабо защищены и подвержены интенсивному антропогенному воздействию, что отражается на их химическом составе. В общем их можно охарактеризовать как загрязненные, не подходящие для хозяйственно-питьевого водоснабжения, но при этом местные жители все равно используют их для питьевых нужд. Особенно популярен родник «Нитратный», куда за водой стекаются люди даже из соседних населенных пунктов. Местные жители уверены, что вода обладает целебными свойствами. Этому способствует и живописное окружение родника, и аккуратный каптаж. Прохладная вода поступает из трубы непосредственно у уреза реки Оредеж.

Химический состав вод зоны активного водообмена левого берега отличается на пойменных и надпойменных участках. Нитратное загрязнение возрастает от надпойменных участков в сторону р. Оредеж, что, вероятно, связано с наличием площадного источника загрязнения по пути фильтрации (поля, огороды) и его переносом фильтрационным потоком к области разгрузки.

Соединения азота представлены в основном нитратами, так как аммоний и нитриты быстро окисляются, и концентрации их измеряются сотыми долями мг/л. Исключение составляет пластовое высачивание, расположенное на правом берегу р. Оредеж, где содержание катионов аммония достигало 12,6 мг/л, а нитритов – 20 мг/л (2016). Так как организмами усваивается в основном связанный азот, то концентрации нитратов в вегетативный период (весной и летом), когда азотистые соединения активно потребляются растительностью, минимальны, а зимой – максимальны. Водовмещающие породы не оказывают сильного влияния на образование нитрат-анионов, главным источником их появления в составе грунтовых вод являются вещества органического происхождения, а также играет роль незначительный привнос из атмосферных осадков. В горных породах осуществляется миграция нитратов через поровое пространство до зоны разгрузки (Тихомиров, 2014). Учитывая то, что опробование проводилось ежегодно в летний период, степень нитратного загрязнения подземных вод территории очень высока.

#### 4.2. Наровский водоносный горизонт (D<sub>2</sub> nr)

Наровский горизонт (D<sub>2</sub> nr) мощность которого колеблется в пределах 20-55 м, сложен переслаивающимися толщами глин, песчаников, мергелей и известняков. Воды водоносного горизонта трещинно-пластовые, напорные. В региональном отношении горизонт интерпретируется относительно водоупорным, но на исследуемой территории вскрывается двумя самоизливающимися скважинами на правом берегу р. Оредеж, располагающимися в пойме реки на базе РГГМУ. Полученные результаты изучения химического состава водных проб горизонта представлены в таблице 3.

Таблица 3  
Результаты химического анализа воды наровского водоносного горизонта

Год	Содержание макрокомпонентов, мг/л									Общая минерализация, мг/л
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Fe <sub>общ</sub>	
Самоизливающаяся скважина на пляже базы РГГМУ										
2007	308	6,4	7,2	67	22,2	4,14	0,37	0	0,6	415
2009	396	4,3	5,5	57	14,7	61,2	0,61	0,75	0,63	539
2013	265	7,1	0,96	45,4	14,76	24,6	0,2	0,86	0,8	358
2015	262,3	6,03	8,33	45,2	19,32	17,79	<0,05	0,26	0,07	367,6
2016	237,9	7,1	15,02	50,2	19,2	7,8	<0,05	1,5	1,4	340
2018	152,5	6,9	16,9	18,8	4,4	40,2	<0,05	0,30	0,19	240
2019	258,1	7	14,3	58,5	16,3	9,43	<0,05	0,8	-	364
Самоизливающаяся скважина у ворот базы РГГМУ										
2007	298,9	7,46	8,16	74	20,4	4,14	<0,2	0	1	413
2009	285,9	5,3	0,5	55	21,9	10	1,86	1,24	1	379
2013	280,6	7,97	1	44	31,2	1	0,3	0,41	0,61	366
2015	294,6	4,96	6,28	64	14,4	16,12	<0,05	0,26	0,3	401
2016	270	8,5	11,5	60,6	18,4	8,8	<0,05	1	1,12	380
2017	272,7	2	12	58,8	19,9	4,4	<0,05	0,6	-	370
2019	274,3	6	12,6	66,2	17,3	3,9	<0,05	0,4	-	380

Формулы Курлова (2019 г.):

Самоизливающаяся скважина на пляже базы РГГМУ:

$$M_{0,36} \frac{HCO_3^- 89}{Ca^{2+} 63 Mg^{2+} 29} pH 7,8$$

Самоизливающаяся скважина у ворот базы РГГМУ:

$$M_{0,38} \frac{HCO_3^- 91}{Ca^{2+} 67 Mg^{2+} 29} pH 7,8$$

По преобладающим макрокомпонентам воды наровского горизонта гидрокарбонатные магниевые-кальциевые, с минерализацией от 300 до 550 мг/л. Воды умеренно жесткие (4-4,5 мг-экв/л). Специфической чертой данного горизонта является повышенная концентрация общего железа, которое превышает ПДК в три раза.

Основными факторами, контролирующими содержания железа в воде, служит окислительно-восстановительный потенциал (Eh), растворенное органическое вещество и рН воды. При рН больше 2,5 трехвалентное железо малоустойчиво и выпадает в осадок, а при околонеутральном рН двухвалентное железо становится слабо устойчивым. В результате того, что природные воды имеют чаще всего имеют околонеутральную реакцию, содержание ионов железа в них обычно не превосходит первых единиц мг/л. В окислительной обстановке железо имеет свойство очень быстро окисляться с образованием плохо растворимого гидроксида. Таким образом, геохимическая обстановка определяет возможность накопления железа в растворе в какой-либо форме или его связывания формирующейся вторичной фазой (Тихомиров, 2014).

Ввиду быстрого изменения обстановки на окислительную при выходе подземных вод на земную поверхность по металлической трубе на стенках скважины образуется железистый налет вследствие выпадения в осадок трехвалентного железа в виде гидроксида, а концентрация железа в воде резко уменьшается.

Высокое содержание гидрокарбонатов обуславливается составом водовмещающих пород, представленных известняками, мергелями и доломитами, которые характеризуются хорошей растворимостью. Кальцит растворяется так быстро, что вода достигает концентраций  $Ca^{2+}$ , соответствующих растворимости кальцита, в большинстве случаев за несколько дней.

Воды наровского водоносного горизонта на данном участке не имеют практического значения из-за низкого дебита водопунктов и низкого качества воды.

### 4.3. Ордовикский водоносный комплекс (О1-3)

Ордовикский водоносный комплекс является основным источником централизованного водоснабжения пос. Батово, птицефабрики и базы РГГМУ. На изучаемой территории вскрывается двумя эксплуатационными скважинами – пос. Батово

и базы РГГМУ на правом берегу р.Оредеж. Водовмещающие породы сложены известняками и доломитами с карстово-трещинным типом порового пространства.

Данные химического анализа проб из ордовикского горизонта приведены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты химического анализа воды ордовикского водоносного комплекса

год	Содержание макрокомпонентов, мг/л							Общая минерализация, мг/л
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
Эксплуатационная скважина поселка Батово								
2007	399,6	10,7	9,6	16	27,6	90,85	0	554
2009	283,7	9,9	16,7	64	18,9	11,6	0,95	405
2013	384,3	20,4	14	44	47,4	23,4	1,31	535
2015	463,6	26,6	25,3	86	40,8	34,6	20,4	697
2016	400,2	7,1	8,9	82	37,2	23	26,5	617
2018	214	17,4	10,2	16	48,6	20	1,6	327
2019	341,6	17,8	9,1	18	53,8	20,9	1,5	463
Скважина базы РГГМУ								
2007	378,2	8,88	9,6	66	43,2	6,2	0,53	512
2009	344,7	3,6	2,7	54	36	2,4	0,55	443
2013	369	7,8	2	60	31,2	16,3	0,52	486
2015	378,2	7,4	9,05	64	28,8	23	0,19	510
2016	359,9	7,1	8,9	64	34,8	5,0	1,8	482
2018	196	12,6	9,3	11,2	41,8	12,5	1,5	285
2019	248,2	9,9	8,5	14,6	30,3	30	1,2	343

Формулы Курлова (2019 г.):

Эксплуатационная скважина поселка Батово:

$$M_{0,69} \frac{HCO_3^- 85}{Ca^{2+} 50 Mg^{2+} 38}$$

Скважина базы РГГМУ:

$$M_{0,51} \frac{HCO_3^- 94}{Ca^{2+} 50 Mg^{2+} 46}$$

В таблице 5 представлены данные о среднем содержании нитратов (мг/л) ордовикского водоносного комплекса за 2007-2019 гг., а на рисунке – график изменения среднего содержания нитратов (рис. 5).

Среднее содержание нитратов (мг/л) в водах ордовикского водоносного комплекса за 2007-2019 гг.

Год опробования	Содержание нитратов (мг/л)
2007	18
2008	1,45
2009	0,949
2010	1.8
2011	н.д.
2012	14
2013	1,31
2014	0,8
2015	20,4
2016	26,5
2017	4
2018	1,6
2019	1,5

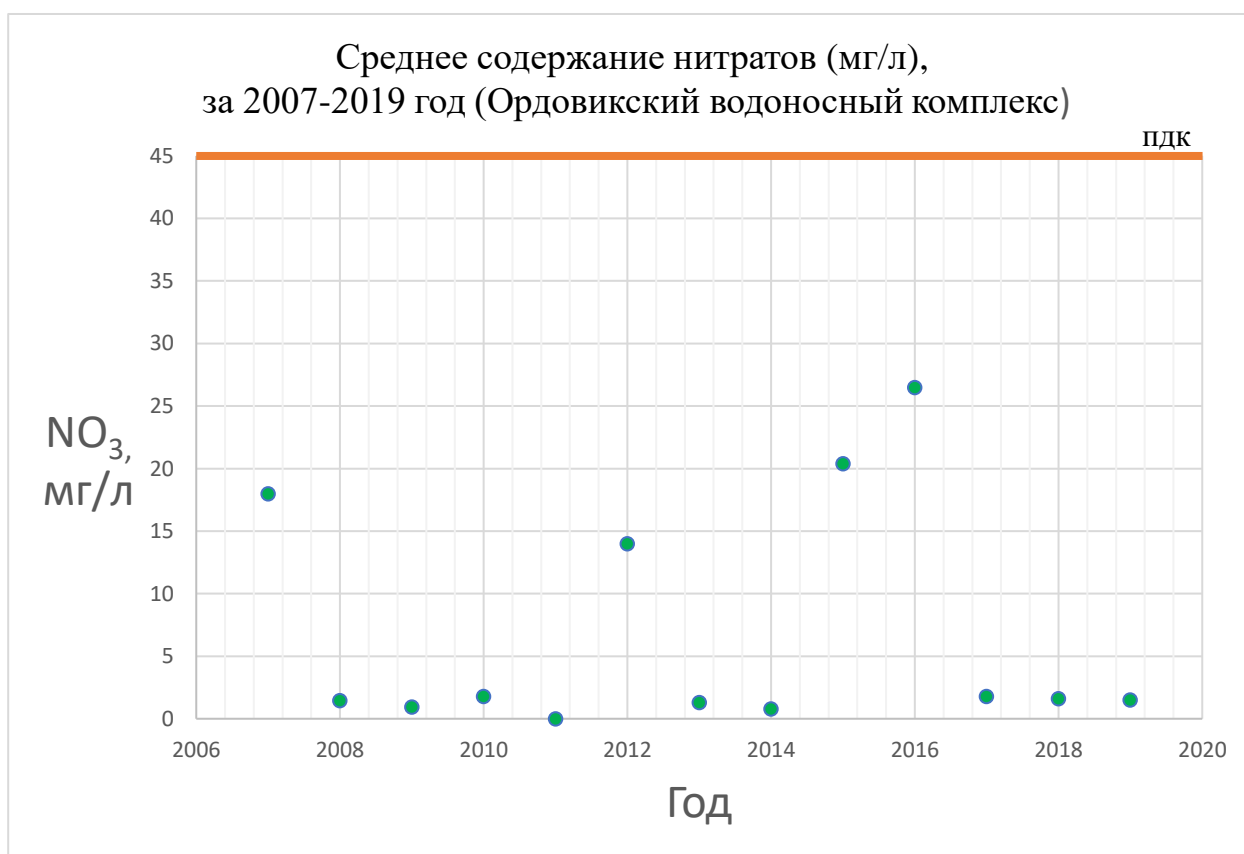


Рис.6 График изменения среднего содержания нитратов в ордовикском водоносном комплексе



По преобладающим компонентам воды горизонта гидрокарбонатные магниевые-кальциевые. Общая жесткость около 6 мг-экв/л. Воды пресные, пригодные к использованию человеком в питьевых и бытовых целях. Содержание всех компонентов не превышает ПДК. Воды характеризуются довольно высокой жесткостью, которая, хотя и не превышает ПДК (7 мг-экв/л), но создает проблемы при кипячении (вся жесткость карбонатная) и ухудшает органолептические свойства воды. Воды ордовикского водоносного горизонта формируют исток реки Оредеж, и поэтому их химический состав определяет химический состав речной воды.

Наличие начального уровня нитратного загрязнения в 2015-16 годах в ордовикских известняках, по-видимому, обусловлено распространением точечного ореола загрязнения из вышележащих пород, на участке исследований ордовикский водоносный комплекс перекрыт относительным водоупором. Возможно было попадание нитратов и по стволу скважины, которая не имеет надлежащей зоны санитарной охраны. Такие проблемы были на водозаборе и раньше, что приводило к необходимости перебурирования скважины с изменением ее местоположения.

Формирование химического состава осуществляется за счет взаимодействия подземных вод с вмещающими карбонатными породами (доломитами и известняками). Присутствие  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  в примерно равном соотношении свидетельствуют о наличии доломита ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) в составе вмещающих пород.

Воды водоносного комплекса обладают удовлетворительным качеством и пригодны на всей исследуемой территории для хозяйственного и питьевого водоснабжения. Но стоит отметить увеличение содержания нитратов в 2015-2016 г., вызванное, скорее всего, нарушениями правил эксплуатации водозабора.

При использовании скважины в поселке Батово требуется осуществлять контроль содержания хлоридов, нитратов и прочих возможных поллютантов. Скважина расположена на густонаселенной территории вблизи сельхозугодий и птицефабрики, которые могут являться вероятными причинами загрязнения. Необходима срочная организация зоны санитарной охраны.

#### **4.4. Поверхностные воды**

Деревня Даймище расположена в верхнем течении реки Оредеж, примерно в 15 км от ее истока. Река берет свое начало на Ордовикском плато в окрестностях деревни Донцо, верховье представляет собой высокодебитный групповой родник, разгружающийся из ордовикских известняков. Река Оредеж имеет длину 192 км, русло достаточно извилистое,

ширина 15-20 м в среднем и до 30-40 м в нижнем течении. Глубина большей части реки 0,5-2 м, скорость течения 1,0-1,5 м/с (Схема комплексного использования..., 2015).

Некоторые результаты химического анализа проб поверхностных вод р.Оредеж, отобранных в 2007-2019 годах, показаны в таблице 6.

Формулы Курлова:

$$2015 \text{ год} : M_{0,45} \frac{HCO_3^- 87}{Mg^{2+}43 Ca^{2+}43}$$

$$2016 \text{ год} : M_{0,46} \frac{HCO_3^- 88}{Mg^{2+}51, Ca^{2+}48}$$

$$2017 \text{ год} : M_{0,38} \frac{HCO_3^- 83}{Mg^{2+}55, Ca^{2+}35}$$

$$2019 \text{ год} : M_{0,38} \frac{HCO_3^- 88}{Mg^{2+}47, Ca^{2+}45}$$

Таблица 6

Результаты химического анализа поверхностных вод  
(река Оредеж у автомобильного моста)

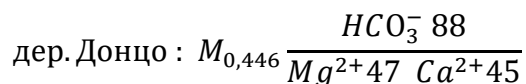
Год	Содержание макрокомпонентов, мг/л								Общая минерализация, мг/л
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
2007	372,1	20,2	15,8	51,8	52,9	5,1	0	17	543,92
2009	338,6	7,8	5,5	53,0	38,4	0,8	1	7,98	451,97
2012	350,8	14,2	13,0	47,0	25,2	45,3	0,5	н.д.	495,46
2013	341,6	17,7	6,0	59,0	27,0	29,6	<0,05	15,9	496,77
2015	298,9	14,5	31,7	60,0	34,8	1,61	<0,05	10,8	452,34
2016	312,9	16,3	10,7	60,0	38,4	0,3	<0,05	25	463,7
2018	213,5	15,2	10	22,5	42,3	0,8	<0,05	14,2	319
2019	320,5	10,3	4,1	50,8	32,1	9,2	<0,05	19,6	446,6

По преобладающим макрокомпонентам воды в реке Оредеж гидрокарбонатные кальциево-магниевые. Общая минерализация – в пределах 319-550 мг/л, общая жесткость 5,6 мг-экв/л. Воды пресные, пригодные к использованию человеком в питьевых и бытовых целях. Содержание всех определенных компонентов не превышает ПДК.

В результате того, что район располагается в верхнем течении реки Оредеж, химический состав речной воды определяется преимущественно составом вод истока, и в

наименьшей степени – составом вод активного водообмена, которые пополняют речной сток. Поверхностные воды имеют еще более высокую минерализацию и жесткость по сравнению с грунтовыми водами, и состав воды в районе деревни Даймище имеет больше сходства с составом воды истока (дер. Донцо), чем с грунтовыми водами.

По преобладающим макрокомпонентам воды истока реки Оредеж в деревне Донцо гидрокарбонатные кальциево-магниевые. Общая минерализация – в пределах 440 мг/л, общая жесткость 5,5 мг-экв/л. Содержание всех определенных компонентов не превышает ПДК.



Достаточно существенное воздействие на формирование режима и химического состава оказывают техногенные факторы, влияние которых в долине реки Оредеж со временем усиливается. На изучаемой территории речной сток зарегулирован, примерно в 2 км выше по течению находится Чикинское водохранилище и плотина, регулирующая речной сток. По берегам реки имеются населенные пункты и земли сельскохозяйственного назначения, что влияет негативно на химический состав поверхностных вод.

## Глава 5. Состав и свойства водовмещающих пород как фактор формирования химического состава грунтовых вод

Горизонт грунтовых вод четвертичных отложений и вод старооскольского водоносного горизонта представлен вмещающими породами четвертичных отложений (аллювиальные (al Q<sub>IV</sub>), элювиальные (e Q<sub>IV</sub>), флювиогляциальные (fg Q<sub>III</sub>) и моренные (g Q<sub>III</sub>) и песчаниками старооскольского горизонта (D<sub>2st</sub>).

В 2017 году на полигоне исследования отбирались пробы грунта, с закладкой нескольких шурфов, для определения механического состава и водно-физических свойств четвертичных отложений (fg Q<sub>III</sub>) и коренных пород (D<sub>2st</sub>) правого берега р. Оредеж. Были определены гранулометрический состав, коэффициент неоднородности, естественная влажность пород и ее зависимость с глубиной (Степаненко, 2017).

В результате визуального изучения образцов пород было установлено, что большей частью четвертичные отложения правого берега представлены песками тонко- и разнозернистыми, однородными или с включением гравия, гальки и валунов, на отдельных участках содержат гравийно-галечниковые слои, местами линзы супесей и суглинков, преимущественно из нерастворимых или слабо растворимых минералов полевых шпатов, слюд и кварца, которые высокостойки к растворению. Коренные породы представлены красноцветными песчаниками разной степени цементации, с включениями слюды, глинистыми и ожелезненными прослоями, чем объясняется зачастую повышенное содержание железа в водах правого коренного берега р. Оредеж. По-видимому, преобладание катиона магния в составе грунтовых вод объясняется наличием слюды в старооскольских песчаниках, а образование катионов натрия и калия происходит за счет растворения полевого шпата (Степаненко, 2017).

Описание шурфов:

### *Шурф № 1*

Шурф заложен на поверхности пологохолмистой равнины, поросшей кустарниками. Привязка: от ворот Базы РГГМУ – В 90°, 150 м; коренной берег р. Оредеж.

Описание северной стенки шурфа:

1) 0,0 – 0,15 м. Почвенно-растительный слой светло-серый, влажный. Нижний контакт четкий, ровный.

2) 0,15 – 1.2 м. Песок от светло-красного до ржаво-бурого цвета (D<sub>2st</sub>) (рис. 7); влажный; кварцево-полевошпатового состава с присутствием слюды; разнозернистый, преимущественно мелкозернистый; косослоистый. Слоистость обусловлена вариациями окраски и плотности материала, связана с наличием глинистых и ожелезненных прослоев. Прослои ржаво-бурые плотные, мощностью до 5 см. Границы между прослоями четкие,

неровные – прослой выклиниваются. Контакт с нижележащим слоем на глубине 1,2 м не обнаружен. Отобрано 10 образцов.



Рис. 7. Старооскольские красноцветные песчаники

### ***Шурф № 2***

Шурф заложен на поверхности пологохолмистой равнины. Привязка: от шурфа № 1 – ЮЗ 238°, 160 м.

Описание южной стенки:

1) 0,0 – 0,12 м. Почвенно-растительный слой серый, влажный. Нижний контакт четкий, ровный.

2) 0,12 – 0,56 м. Песок от светло-желтого до темно-серого цвета, влажный, кварцевого состава, мелкозернистый, с редкими включениями мелкой гальки (диаметром до 20 мм). Горизонтально-слоистый. Книзу слоя содержание и размеры обломков возрастают. Контакт с нижележащим слоем четкий, неровный. Состав материала, хорошая степень отсортированности, ярко выраженная горизонтальная слоистость, а также залегание пород на равнине свидетельствует о флювиогляциальном генезисе этих грунтов.

3) 0,56 – 1,2 м. Песок от светло-красного до ржаво-бурого цвета (D<sub>2st</sub>); влажный; кварцево-полевошпатового состава с присутствием слюды; разнозернистый, преимущественно мелкозернистый; косослоистый. Контакт с нижележащим слоем на глубине 1,2 м не обнаружен. Отобрано 10 образцов.

### **Определение гранулометрического состава пород**

Для определения гранулометрического состава в шурфе № 1 было отобрано 5 проб грунта с разных глубин. Анализ производился ситовым методом в полевой лаборатории РГГМУ, масса навесок подбиралась примерно равная 400 г (398,9 - 400,01 г). В результате получили значения, представленные в таблице 7. По данным таблицы была построена интегральная кривая в нормальном масштабе (рис. 8), с которой сняты значения эффективного и контролирующего диаметра. Коэффициент неоднородности можно принять как среднее значение по 5 пробам, так как кривые накладываются одна на другую ( $C_u = 1,8$ ). Также по результатам анализа определена номенклатура грунта по преобладающей фракции. В нашем случае диаметр частиц от 0,25 до 0,1 мм составил 78,5 %, от 0,5 до 0,25 мм – 19 %, что согласно ГОСТ 25100 «Грунты. Классификация» классифицируется как: песок мелкий, однородный.

Таблица 7

Таблица результатов гранулометрического анализа, шурф № 1

Номер пробы	Геологический индекс	Глубина отбора проб, м	Размеры фракций в мм, содержание, %							
			>200	200-10	10-2	2-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	< 0,1	0,01
1	D <sub>2</sub> st	0.2	0.00	0.00	0.31	1.86	18.80	79.03	0.00	0.00
2	D <sub>2</sub> st	0.4	0.00	0.00	0.23	2.95	19.7	77.12	0.00	0.00
3	D <sub>2</sub> st	0.6	0.00	0.00	0.34	2.01	19.56	78.09	0.00	0.00
4	D <sub>2</sub> st	0.8	0.00	0.00	0.27	1.75	18.55	79.43	0.00	0.00
5	D <sub>2</sub> st	1	0.00	0.00	0.20	2.05	19.04	78.71	0.00	0.00

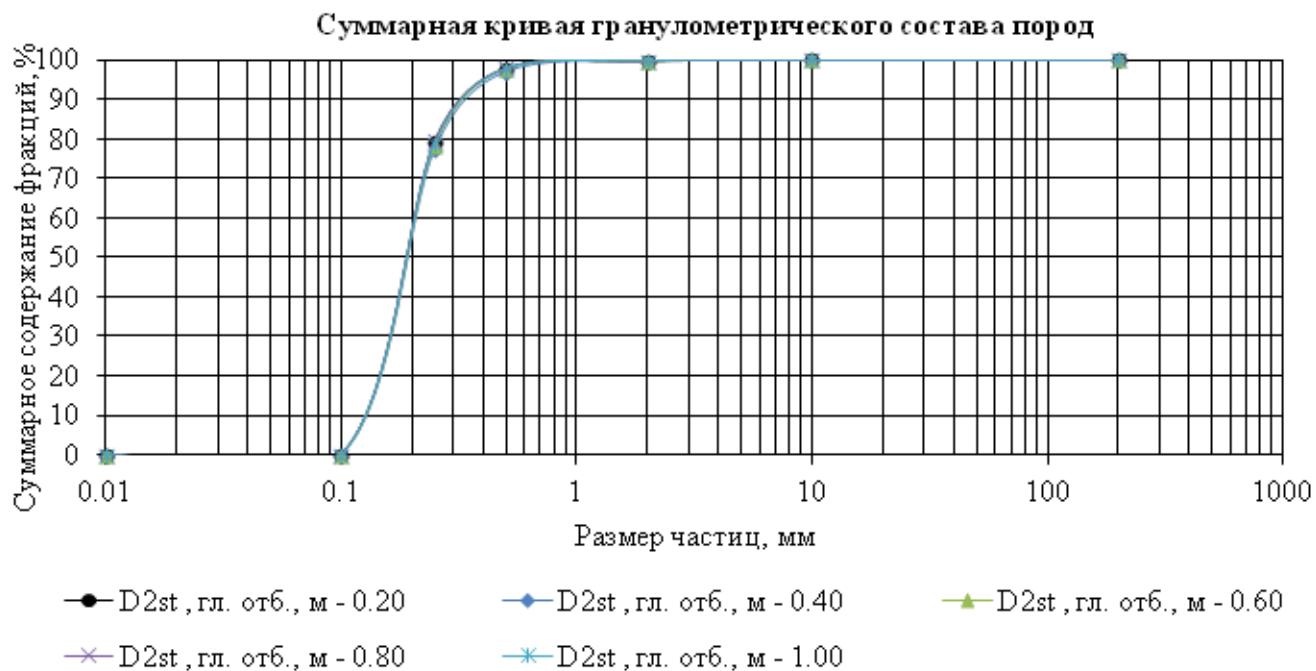


Рис. 8. Интегральная кривая гранулометрического состава, шурф № 1

Для определения гранулометрического состава в шурфе № 2 было отобрано 5 проб грунта с разных глубин. Анализ производился ситовым методом в полевой лаборатории РГГМУ, масса навесок подбиралась примерно равная 400 г (399,5-400,03). В результате получили следующие значения, представленные в таблице 8. По данным таблицы была построена интегральная кривая в нормальном масштабе (рис. 9), с которой сняты значения эффективного и контролирующего диаметра. Коэффициент неоднородности рассчитан для 2 типов грунтов – флювиогляциального происхождения ( $C_u = 1,84$ ) и старооскольского песчаника ( $C_u = 1,82$ ). Также по результатам анализа определена номенклатура грунта по преобладающей фракции. Для 1 слоя – диаметр частиц от 0,25 до 0,1 мм составил 75 %, от 0,5 до 0,25 мм – 19 %, что согласно ГОСТ 25100 «Грунты. Классификация» классифицируется как: песок светло-желтый, мелкий, однородный. Для 2 слоя – диаметр частиц от 0,25 до 0,1 мм составил 77,3 %, от 0,5 до 0,25 мм – 19,4 %, что согласно ГОСТ 25100 «Грунты. Классификация» классифицируется как: песок мелкий, однородный.

Таблица результатов гранулометрического анализа, шурф № 2

Номер пробы	Геологический индекс	Глубина отбора проб, м	Размеры фракций в мм, содержание, %							
			>200	200-10	10-2	2-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	< 0,1	0,01
1	fg Q <sub>III</sub>	0.2	0.00	1.54	2.31	3.86	16.24	76.05	0.00	0.00
2	fg Q <sub>III</sub>	0.4	0.00	3.25	5.17	8.95	9.70	72.93	0.00	0.00
3	D <sub>2st</sub>	0.6	0.00	0.00	0.34	2.01	17.56	80.09	0.00	0.00
4	D <sub>2st</sub>	0.8	0.00	0.00	0.27	1.03	15.00	83.70	0.00	0.00
5	D <sub>2st</sub>	1	0.00	0.00	0.14	6.05	25.58	68.23	0.00	0.00

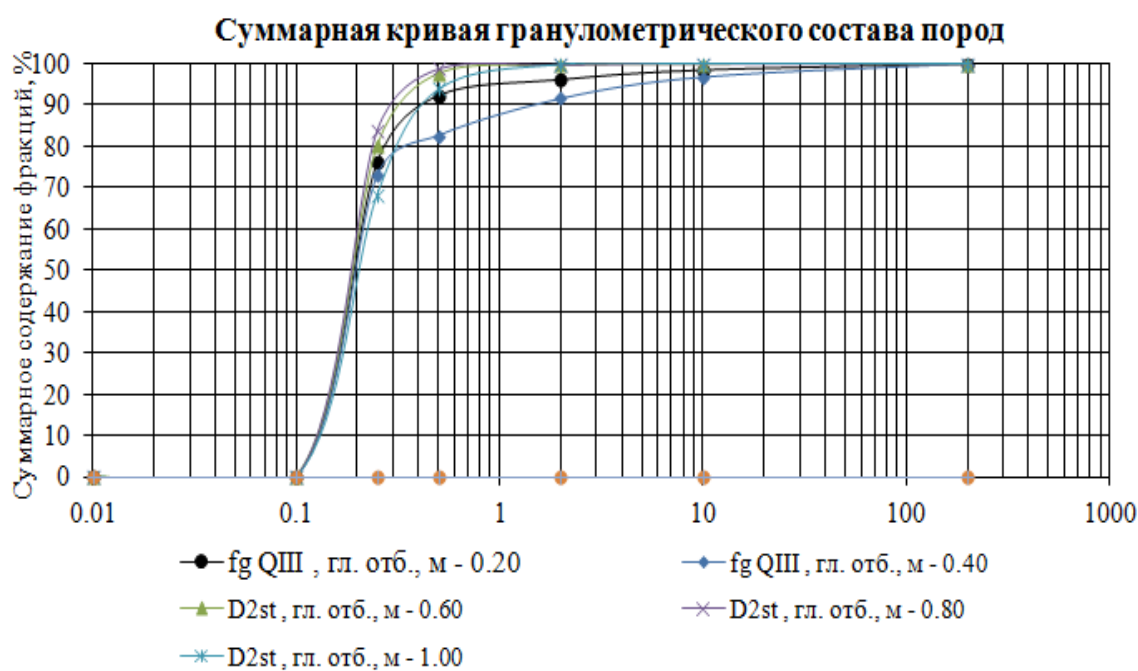


Рис. 9. Интегральная кривая гранулометрического состава, шурф № 2

### **Определение естественной влажности грунта зоны аэрации**

Для определения естественной влажности грунта из каждого шурфа было отобрано по 5 проб с разных глубин. Анализ производился в полевой лаборатории РГГМУ. Результаты анализа представлены в виде журнала (таблица 9, 10) определения влажности весовым способом.



Таблица 9

## Журнал определения влажности весовым способом, шурф № 1

№ весового стаканчика	Масса весового стаканчика $g_0$ , Г	Глубина отбора грунта, м	Масса весового стаканчика с влажным грунтом $g_1$ , Г	Масса весового стаканчика с высушенным грунтом $g_2$ , Г	Влажность грунта $W = \frac{g_1 - g_2}{g_2 - g_0}$
1	21.52	0.2	90.11	85.92	6.5
2	21.60	0.4	65.75	62.72	7.4
3	21.68	0.6	98.84	90.65	11.9
4	21.75	0.8	98.56	92.94	7.9
5	22.00	1	98.90	88.67	7.0

Таблица 10

## Журнал определения влажности весовым способом, шурф № 2

№ весового стаканчика	Масса весового стаканчика $g_0$ , Г	Глубина отбора грунта, м	Масса весового стаканчика с влажным грунтом $g_1$ , Г	Масса весового стаканчика с высушенным грунтом $g_2$ , Г	Влажность грунта $W = \frac{g_1 - g_2}{g_2 - g_0}$
1	22.04	0.2	65.45	63.67	4.3
2	21.75	0.4	66.75	63.78	7.1
3	21.89	0.6	98.65	90.35	12.1
4	22.00	0.8	98.78	92.94	8.2
5	21.96	1	98.49	93.41	7.2

Опробование производилось из зоны аэрации, которая имеет непосредственную взаимосвязь с грунтовыми водами. Зона аэрации характеризуется определенными структурными особенностями водовмещающих пород и различается в двух точках опробования по гранулометрическому составу, его однородности, формам и размерам пор.

На рисунке 9 приведен график зависимости изменения естественной влажности грунта от глубины в шурфах № 1, 2. По особенностям водного режима в зоне аэрации выделяется три подзоны: переменного увлажнения, транзита и капиллярной каймы. На графиках (рис.

10) эти зоны соответствуют глубинам: зона переменного увлажнения - 40 см от дневной поверхности, зона транзита - от 40 см до 80 см, зона капиллярной каймы не представлена из-за значительной мощности зоны аэрации, превышающей глубину заложения шурфа.

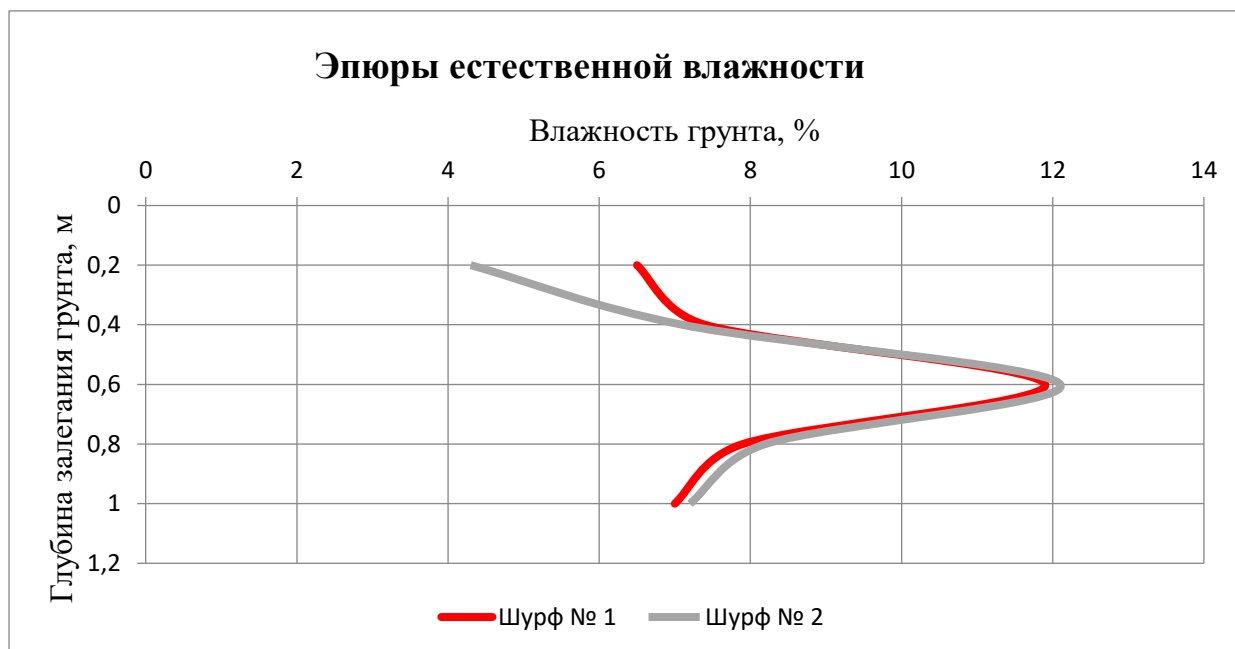


Рис. 10. График зависимости изменения естественной влажности грунта от глубины в шурфах № 1, 2

Колебания влажности в переменной зоне связаны с сезонными изменениями в поступлении и расходовании влаги. Мощность слоя переменного увлажнения зависит от периода колебания влажности и от фильтрационных свойств грунта. Кривые расходятся в этой зоне из-за различного генезиса пород, в шурфе № 2 на этой глубине залегают флювиогляциальные отложения, а в шурфе № 1 – девонские красноцветные пески.

С глубиной происходит уменьшение амплитуды колебания уровня, так как в верхней части зоны аэрации изменения интенсивности влагопереноса выше. Это свидетельствует не об уменьшении питания с глубиной, а о его стабилизации во времени.

Ниже области переменного увлажнения находится область транзита, где влажность в течение длительного периода времени практически не меняется и соответствует значению влажности, определяемому среднегодовым значением питания подземных вод. Значения влажности в двух случаях оказались одинаковыми, что объясняется составом вмещающих пород: мелкими, полупроницаемыми, однородными песками.

Зона аэрации выступает в качестве основного резервуара, где происходит формирование химического состава грунтовых вод, а также может являться защитным барьером и препятствовать внедрению посторонних компонентов в их состав, это полностью определяется литологией пород зоны аэрации и протекающими в ней процессами.

Рассмотрим, как влияют вариации состава четвертичных отложений на формирование химического состава вод зоны активного водообмена, разбив их на две группы: **левого и правого берега** реки Оредеж.

**Правый берег** реки – коренной, водомещающие породы представлены красноцветными песками и песчаниками ( $D_{2st}$ ), которые перекрываются четвертичными отложениями разного генезиса. Мощность четвертичных отложений на территории по данным проходки шурфов невелика – от 10 до 50 см.

**Левый берег** более сложен как в геоморфологическом отношении, так и по многообразию состава водомещающих пород. Он состоит из отложений надпойменных террас, представленных бурыми моренными супесями и суглинками, глинами ( $Q_{IIIgl}$ ), а также песчаниками и песками разного генезиса.

**Ледниковые отложения** ( $Q_{III gl}$ ) занимают значительные площади на водораздельных участках и представлены красными и красно-бурными моренными суглинками и песчанистыми глинами, желтовато-бурными моренными суглинками и серовато-желтыми моренными валунными супесями и песками. Мощность моренных отложений варьирует от 2 до 20 м. Флювиогляциальные отложения ( $Q_{III fg}$ ) обычно залегают на нижней морене и представлены разнозернистыми и гравелистыми песками с прослоями супесей, суглинков и гравийно-галечных пород. Суммарная мощность флювиогляциальных отложений достигает 10 м. В основании на разной глубине (от 3 до 20 м) залегают старооскольские красноцветные песчаники.

**Аллювиальные отложения** ( $Q_{IV a}$ ) представлены русловой и пойменной фациями, слагающими пойменную или две пойменные террасы реки Оредеж, вытянутые вдоль водотока узкой полосой шириной от 25-30 до 120-130 м. Аллювиальные террасы сложены преимущественно песчаными породами с различным содержанием глинистой фракции и органического вещества. Содержание глинистых частиц увеличивается на участках периодического подтопления и резко снижается в русловой фации.

Пойменный аллювий характеризуется развитием песков, супесей, суглинков и глин с незначительным количеством обломочного материала. Преобладают пески средней плотности, реже встречаются рыхлые. Сжимаемость у песков слабая. Коэффициент фильтрации песков изменяется от 0,1 до 20 м/сут, что обусловлено невыдержанностью их

гранулометрического состава и различным содержанием глинистых частиц. В связи с этим водообильность песков крайне неравномерна. Аллювиальные глинистые отложения содержат органические остатки (потери при прокаливании до 30 %), обладают повышенной влажностью. Консистенция мягкопластичная до текучей, редко тугопластичная. Отличаются высоким содержанием пылеватой фракции, что говорит о разности грунта от тяжелого суглинка до легкой супеси (Инженерная геология СССР, 1978).

Минерализация грунтовых вод правого берега, а именно водопунктов с.25 и р.24 за все время изучения варьирует в пределах от 50 до 200 мг/л, а для левого берега реки Оредеж общая минерализация меняется от 100 до 1155 мг/л.

Таким образом, на правом берегу развиты коренные породы и перекрывающие рыхлые четвертичные отложения малой мощности, слагающие зону аэрации, где скорости инфильтрации и водообмена гораздо выше, чем на левом берегу, где воды более минерализованы за счет наличия суглинистой морены с плохими фильтрационными свойствами. Зона аэрации на левом берегу имеет меньшую мощность, чем на коренном, и сложена более разнообразными фациями. Для левого берега реки Оредеж наличие в разрезе моренных суглинков ведет к изменению минерализации и состава грунтовых вод. Уменьшение скоростей водообмена приводит к увеличению общей минерализации. Глинистые грунты являются типичными ионообменниками в гидрогеохимических системах верхней гидродинамической зоны. Взаимодействие с глинистой фракцией пород в околонейтральной среде ведет к увеличению доли натрия в составе воды, так как двухвалентные катионы кальция и магния легче сорбируются глинистыми породами, а одновалентные катионы переходят в раствор. Присутствие гидроокислов железа в глинистых фракциях может способствовать увеличению доли хлоридов в воде, так как в слабокислой среде гидроокислы железа и алюминия могут выступать как анионообменники. Пестрый макрокомпонентный состав грунтовых вод левого берега р. Оредеж объясняется еще и сложностью четвертичной геологии территории, помимо моренных суглинков здесь встречаются и породы других фаций и минералогического состава, в основном пески.

Для исследования литолого-фациального состава пород изучаемого района было отобрано 10 проб грунтов, 3 с правого берега и 7 с левого. Карта расположения точек отбора проб приведена в приложении 3. Описание отобранных проб с привязкой точек содержится в Приложении 4. Было установлено, что состав грунтов левого берега пестрый, породы представлены легкими и тяжелыми суглинками, песками мелкими, глинами. Породы правого берега – пески и песчаники. Сравнение макрокомпонентного состава подземных вод левого и правого берегов показало, что минерализация подземных вод заметно больше

на левом берегу, что и подтвердилось результатами дисперсионного анализа. Однофакторный дисперсионный анализ был проведен с двумя выборками – результатами измерения общей минерализации подземных вод правого и левого берега за 2017 – 2019 гг. Анализ подтвердил существенное различие значений ( $F_p \gg F_{кр}$  (8,78 >> 4,24) при  $\alpha=0,01$ ). Чаще встречаются на левом берегу и воды смешанного катионного состава, где содержание натрия как правило, около 30 экв. %, достигая 50 экв. % и выше. Это, несомненно, связано с различием состава вмещающих пород.

На исследуемом участке зона аэрации сильно изменена в связи с активной человеческой деятельностью, как пассивными (наличие карьеров, свалок, выгребных ям, асфальтирование, домостроение), так и активными нарушениями (полив).

Таким образом, вмешательством в процессы влагообмена в зоне аэрации, нарушением естественного состава и свойств вмещающих пород оказывается влияние на скорость и интенсивность поступления опасных компонентов в грунтовые воды (Степаненко, 2017).

Для уточнения происхождения нитратного загрязнения территории в 2018 году был проведен анализ водных вытяжек из всех отобранных проб грунта, результаты представлены в таблице 11.

Таблица 11

Результаты анализа водных вытяжек из проб грунта 2018 года

Наименование грунтов и место отбора	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/л	Cl <sup>-</sup> , мг/л	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	pH
Песок мелкий коричневый (коренное обнажение у моста), правый берег	15,5	7,5	12,5	6,3
Песок с гравийно-галечным материалом (пойма реки у моста на базу РГГМУ), левый берег	28,5	9	24,3	6,4
Песок светло-коричневый (левый берег р.Оредеж)	13	12	19	6,1
Суглинок (родник «Нитратный»), левый берег	9	4,5	41,5	6
Глина (возле пожарного водоема), левый берег	67,5	3	3	6,2
Песок мелкий красный (карьер), левый берег	1,3	3,5	4,3	6,4
Глина (карьер), левый берег	43,5	8,5	13	6,3
Песок шурф 1 база РГГМУ, правый берег	6,5	4,5	1,5	6,3
Песок шурф 2 база РГГМУ, правый берег	5,5	3,5	2	6,2
Суглинок (карьер), левый берег	8,5	4,5	2,5	6,2

Интересен результат водной вытяжки из пробы суглинка наиболее представительного водопункта (родник «Нитратный»), где содержание нитратов (41,5 мг/л) соответствует содержанию в пробе воды за последние 2 года.

Во всех пробах воды, отобранных из родника, наблюдается превышение ПДК по нитратам (45 мг/л), содержание которых в 2007-2019 гг. варьирует от 45 до 197 мг/л. В 2018 году концентрация  $\text{NO}_3^-$  составила 45 мг/л, а в 2019 году – 49 мг/л.

Предполагалось, что источником загрязнения родника «Нитратный» может быть заброшенная животноводческая ферма, расположенная выше по потоку. Однако анализ водных вытяжек грунтов зоны аэрации выше родника «Нитратный» показал то же содержание нитратов в вытяжке, что и в роднике. Таким образом, загрязнение на этом участке скорее всего поступает сверху вниз при инфильтрации через зону аэрации.

С течением времени, под действием фильтрационного потока, инфильтрации атмосферных осадков, при условии отсутствия дополнительных источников загрязнения, возможно, произойдет минимизация нитратного загрязнения в зоне аэрации ниже предельного значения.

В остальных же пробах грунта высоких содержаний нитратов не обнаружено, это подтверждает тот факт, что загрязнение имеет точечный характер и мигрирует от ореолов их распространения к областям разгрузки.

В целом вытяжки характеризуются кислой средой, умеренным содержанием хлоридов и сульфатов, примерно идентичным с их содержаниями в грунтовых водах, невысокими содержаниями нитратов.

## **Глава 6. Современное состояние грунтовых вод**

Гидрохимическое опробование вод активного водообмена исследуемого района проводится с 2007 года в ходе летних учебных практик по гидрогеологии СПбГУ и РГГМУ. Лично автором с 2016 года отобрано и проанализировано больше 80 проб воды. Также дважды были взяты пробы в зимний период в режимных водопунктах для выявления сезонного изменения химического состава подземных вод.

За 2018-2019 гг. автором было проанализировано около 38 проб воды из трех водоносных горизонтов и поверхностных вод, а также 10 проб водных вытяжек из четвертичных отложений и данные многолетнего анализа.

### **6.1. Грунтовые воды. Водоносный горизонт старооскольских и четвертичных отложений (D<sub>2st</sub> + Q)**

Подробно рассмотрим особо представительные водопункты, вскрывающие воды активного водообмена, разбив их на группы по геоморфологическому месторасположению – «водораздел», «пойма», правый берег реки Оредеж. Последняя группа отличается по возрасту и составу водовмещающих пород (коренной берег, D<sub>2st</sub>) и в связи с небольшой заселенностью этой территории.

#### **Группа 1. Колодцы надпойменной террасы р. Оредеж (Большой проспект) («водораздел»).**

В эту группу входят около 15 колодцев и 2 скважины, располагающиеся на наивысших абсолютных отметках исследуемого участка и опробованных с 2007 по 2019 г. Из них 3-4 опробовались ежегодно (Приложение 1; к.1, к.2, к.3, к.4, к.5, к.6, к.7, к.8, к.10, к.12, к.13, к.14, к.15, с.9, с.11). В таблице 12 представлены данные за 2016-2019 год по изменению общей минерализации, содержания хлоридов, сульфатов и нитратов в данных водопунктах за исследованный период. Для сравнения в таблице 13 показаны результаты исследования с 2007 по 2015 год (Романова А.А. Закономерности многолетнего изменения...2015).

Таблица 12

## Группа 1. «Водораздел» за 2016-2019 гг.

	Минерализация	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
	мг/л			
Максимум	521,33	54,3	36,5	145
Минимум	106,5	8,52	7,3	1,2
Среднее значение	254,57	24,3	22,01	33,77
Медиана	247,71	18,51	23,09	37,75
Мода	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д
ПДК	1000	350	500	45
Среднее значение для климатической зоны (Шварцев, 1998)	231	13,3	13	5,32

Таблица 13

## Группа 1. «Водораздел» за 2007-2015 гг.

	Минерализация	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
	мг/л			
Максимум	837,48	70,19	128,87	479,00
Минимум	110,71	7,09	2,00	0,42
Среднее значение	326,77	21,53	33,32	94,15
Медиана	308,29	16,31	19,55	44,75
Мода	Н/Д	28,36	17,00	Н/Д
ПДК	1000	350	500	45
Среднее значение для климатической зоны (Шварцев, 1998)	231	13,3	13	5,32

Как видно из представленных данных, в настоящее время (2016-2019 гг.) общая минерализация изменялась от 106,5 до 521,33 мг/л, со средним значением 254,57 мг/л. Тогда, как до 2016 года разброс по минерализации был больше от 110,71 мг/л до 837 мг/л и средним 326,77 мг/л.

Связано это скорее всего с уменьшением нитратного загрязнения территории, так, по данным 2016-2019 гг. максимальное содержание нитратов на второй надпойменной террасе наблюдалось в колодце у церкви (Большой пр., 144 (к.3 Приложение 1, 2)) – 145 мг/л и средним значением 33,77 мг/л. До 2016 года максимальное значение достигало 479



мг/л, со средним 94,15 мг/л, в большинстве проб воды, отобранных из четвертичных отложений до 2016 года, наблюдается превышение ПДК по нитратам (45 мг/л). В настоящее время из 10 проб только в трех наблюдается концентрация нитратов выше ПДК, в двух пробах она близка к ПДК (42,2 мг/л; 40,4 мг/л). Сильное нитратное загрязнение является точечным и расположено в северо-восточной части района (Приложение 2), там располагается заброшенная животноводческая ферма. Обращают на себя внимание близкие значения медианных содержаний нитратов за эти годы, тогда как средняя концентрация за последние годы существенно снизилась. Это может свидетельствовать об истощении или ликвидации какого-либо точечного источника загрязнения.

В целом наблюдается тенденция к уменьшению содержания нитратов, но пока что оно находится на уровне или выше ПДК, т.е. наблюдается сплошное нитратное загрязнение грунтовых вод.

Содержание хлоридов составляет от 8,5 до 54,3 мг/л. Из таблицы 12 видно, что среднее значение 24,3 мг/л, медиана равна 18,51 мг/л. Содержание хлоридов в большинстве точек опробования невелико и существенно меньше максимального, но несколько выше, чем фоновое для данной климатической зоны.

Содержание сульфатов варьирует от 7,3 до 36,5 мг/л. Среднее значение 22,01 мг/л. Таким образом, воды в целом характеризуются небольшим содержанием сульфатов. Медианное значение сопоставимо с фоновым в целом по климатической зоне.

Вода мягкая, общая жесткость составляет около 2,5 мг-экв/л. По преобладающим компонентам воды в основном гидрокарбонатные, смешанного анионного состава.

## **Группа 2. Родник "Нитратный", пойменные колодцы (ул. Набережная) («пойма»).**

В эту группу входят пойменные колодцы и один родник на левом берегу р. Оредеж (Приложение 1, т.н. - к.16, р.17, к.19, к.20, к.21, к.22). Водовмещающие породы – четвертичные отложения пойменной и первой надпойменной террас. В таблице 14 представлены статистические данные за 2016-2019 год по изменению общей минерализации, общей жесткости, содержания хлоридов, сульфатов и нитратов в данных водопунктах за исследованный период. Для сравнения в таблице 15 показаны результаты исследования с 2007 по 2015 год (Романова, 2015).

Таблица 14

## Группа 2. «Пойма» за 2016-2019 гг.

	Минерализация	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
	мг/л			
Максимум	418,9	37,2	36,8	147
Минимум	139	8	5,6	5,4
Среднее значение	248,9	20,3	15,7	67,3
Медиана	258,6	19,2	14,2	62
Мода	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д
ПДК	1000	350	500	45
Среднее значение для климатической зоны (Шварцев, 1998)	231	13,3	13	5,32

Таблица 15

## Группа 2. «Пойма» за 2007-2015 гг

	Минерализация	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
	мг/л			
Максимум	570,64	42,54	95,21	331
Минимум	181,86	8,86	1	19,92
Среднее значение	349,95	21,44	35	114,69
Медиана	340,57	18,97	27,94	95,60
Мода	Н/Д	Н/Д	27,9	103
ПДК	1000	350	500	45
Среднее значение для климатической зоны (Шварцев, 1998)	231	13,3	13	5,32

Общая минерализация грунтовых вод за последние годы варьирует здесь от 183 до 418,9 мг/л (таблица 14). Минерализация в роднике «Нитратный» гораздо выше фоновой для данной климатической зоны. За последние годы средние и медианные минерализации снизились примерно в 1,5 раза, достигнув фоновых значений.

Содержание хлоридов составляет от 8 до 37,2 мг/л. (таблица 14). Среднее содержание хлоридов выше фонового примерно в 1,5 раза, но даже максимальное значение гораздо ниже ПДК.

Содержание сульфатов варьирует от 5,6 до 36,8 мг/л. Из таблицы 14 видно, что среднее значение 15,7 мг/л, а медиана равна 14,2 мг/л, соответствует фоновой для данной климатической зоны. Максимальное значение в 3 раза выше фонового по Шварцеву, но гораздо ниже ПДК.

Вода мягкая, общая жесткость составляет около 2,6 мг-экв/л. По преобладающим компонентам воды гидрокарбонатные кальциевые.

Почти во всех пробах воды, отобранных из четвертичных отложений, наблюдается повышенное или на границе с ПДК (45 мг/л) содержание нитратов, которое в 2016-2019 гг. варьировало от 5,4 до 147 мг/л (табл. 14). Учитывая, что минимальное содержание нитратов составляет 5,4 мг/л (табл. 14), можно заключить, что все грунтовые воды характеризуются начальной степенью нитратного загрязнения, причем в отдельных пробах содержание нитратов выше ПДК. Нитратное загрязнение этой группы водопунктов объясняется множеством точечных (выгребные ямы, компостохранилища) и сплошным распространением площадных источников загрязнения (азотные сельскохозяйственные удобрения). Загрязнение легко проникает с поверхности в хорошо проницаемые разнозернистые пойменные отложения, кроме того, здесь расположена зона разгрузки грунтовых вод, уже загрязненных выше по потоку. Осаждение нитратов в составе каких-либо труднорастворимых соединений в естественных условиях невозможно, и их содержание увеличивается по направлению движения фильтрационного потока. По сравнению с прошлыми годами среднее и медианное содержание нитратов уменьшилось более чем в два раза.

По-видимому, уменьшение в последние годы содержания нитратов обусловлено уменьшением внесения органических удобрений (отходов птицефабрики) на частных сельскохозяйственных угодьях, что периодически происходило ранее, а также возможным истощением точечного источника загрязнения (заброшенная скотоферма выше по потоку).

**Группа 3. Правый берег реки Оредеж - родник у спорткафедры, куст скважин (база РГГМУ), пластовое высачивание (в лесу).** На правом, коренном, берегу реки Оредеж старооскольский водоносный горизонт грунтовых вод (Приложение 2; т.н. - пл.23, от.25, р.24) характеризуется более низкой минерализацией, чем воды четвертичных отложений, которая в основном варьирует от 96 до 191,6 мг/л. Точка «пластовое высачивание» существенно отличается по минерализации, макрокомпонентному составу и степени загрязнения, поэтому в статистическую оценку не входит будет и рассмотрена отдельно. Для остальных точек среднее значение минерализации 144,7 мг/л, а медиана равна 139 мг/л (табл. 16), что ниже фоновых значений.

Также воды гораздо мягче вод четвертичных отложений, их общая жесткость не выше 1,5 мг-экв/л (очень мягкие).

Содержание хлоридов варьирует от 5 до 12,4 мг/л (табл 16). Среднее значение 7,95 мг/л, а медиана 7,09 мг/л, что тоже ниже фоновых показателей. Таким образом, в целом содержание хлоридов в подземных водах правого берега р. Оредеж невелико.

Таблица 16

Группа 3. Правый берег за 2016-2019 гг

	Минерализация	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
	мг/л	мг/л	мг/л
Максимум	191,57	12,4	1,8
Минимум	96,2	5	0,05
Среднее значение	144,7	7,95	0,67
Медиана	139	7,6	0,6
Мода	Н/Д	Н/Д	Н/Д
ПДК	1000	350	45
Среднее значение для климатической зоны (Шварцев, 1998)	231	13,3	5,32

По преобладающим компонентам воды гидрокарбонатные кальциевые.

На большей части территории содержание загрязняющих веществ минимальное. Например, содержание нитратов варьирует от 0,05 до 1,8 мг/л, что ниже фоновых значений.

**Пластовое высачивание.** Исследуемое высачивание располагается в лесу в 300 м от дороги д. Даймище – п. Батово (Приложение 2; пл.23).

Общая минерализация за период 2016-2019 гг. менялась в пределах от 541,7 до 909,1 мг/л. Среднее значение равно 744,6 мг/л, а медиана равна 763,8 мг/л (табл. 17).

## Пластовое высачивание за 2016-2019 гг.

	Минерализация	Общая жесткость	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
	мг/л	мг-экв/л	мг/л	мг/л
Максимум	909,1	7,35	64,8	152
Минимум	541,7	5,6	62,4	98,5
Среднее значение	744,6	6,7	63,9	131
Медиана	763,8	6,9	64,3	137,7
Мода	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д
ПДК	1000	7	350	45
Среднее значение для климатической зоны (Шварцев, 1998)	231	2,1	13,3	5,32

Содержание хлоридов от 62,8 до 64,8 мг/л. Общая жесткость варьирует от 5,6 до 7,35 мг-экв/л, среднее 6,7 мг-экв/л (табл. 17).

Содержание нитратов от 98,5 до 152 мг/л. Среднее значение 131 мг/л, а медиана равна 137,7 мг/л (табл. 17). Таким образом, во всех пробах 2016-2019 гг. наблюдается превышение ПДК и во всех пробах содержание выше фонового.

Интересно, что на протяжении периода наблюдений содержание недоокисленных соединений азота (в основном аммония) в этой точке падало при постоянном увеличении содержания нитратов. Точка находится в лесу, поэтому источник загрязнения установить не удастся.

### Выводы по главе 6

Грунтовые воды на пойменных и надпойменных участках левого берега реки Оредеж различаются по химическому составу. Сильное нитратное загрязнение зафиксировано в отдельных водопунктах, расположенных на пойменной террасе, что, по-видимому, объясняется наличием источников точечного нитратного загрязнения и миграцией нитратов от ореолов их распространения к области разгрузки грунтовых вод.

В целом содержание нитратов в грунтовых водах постепенно уменьшается, но находится на уровне или выше ПДК.

Грунтовые воды правого берега практически не загрязнены, за исключением точки «пластовое высачивание», где источник загрязнения не установлен.

## Заключение

На основе полученных результатов, лабораторных исследований химического состава вод, водных вытяжек и вещественного состава водовмещающих пород, можно сделать следующие выводы:

- С 2007 года, когда были начаты наблюдения, химический состав грунтовых вод претерпевал сравнительно небольшие изменения макрокомпонентного состава и минерализации, по этой причине гидрохимический режим вод можно считать относительно устойчивым.
- Качество грунтовых вод в районе исследования многие годы остается низким, местное население применяет органические отходы птицефабрики в качестве удобрения. Вероятно, содержание нитратов в грунтовых водах коррелирует с цикличностью удобрения садовых участков этими отходами. В целом наблюдается тенденция к уменьшению содержания нитратов в грунтовых водах. Во всех режимных точках, расположенных в пределах деревни Даймище, ежегодно обнаруживается превышение ПДК по нитратам. На правом берегу реки Оредеж состав и минерализация подземных вод существенно отличается от вод левого берега. Это обусловлено характером вмещающих пород и степенью антропогенного воздействия на территорию.
- Формирование химического состава вод зоны активного водообмена бассейна реки Оредеж происходит как в зоне аэрации, так и в водовмещающих породах. Важную роль в формировании гидрохимического облика грунтовых вод играет литологический состав водовмещающих пород. Так, воды дисперсных несвязных грунтов отличаются меньшей минерализацией, чем тонкодисперсные суглинки, минеральные частицы которых в околонейтальных условиях заряжаются отрицательно и являются катионообменниками, обуславливая смешанный катионный состав грунтовых вод левого берега.
- Воды ордовикского водоносного комплекса характеризуются удовлетворительным качеством, устойчивым во времени, и пригодны для хозяйственно-питьевого водоснабжения.
- Химический состав вод реки Оредеж в наибольшей степени определяется составом водовмещающих пород и вод ордовикского водоносного горизонта, откуда река берет свое начало, и в наименьшей степени – составом грунтовых и поверхностных вод, пополняющих речной сток. Речные воды пока сохраняют приемлемое качество, но фиксируется начальная степень загрязнения, преимущественно, нитратами.

## Список литературы

### *Монографии:*

1. Геология СССР. Т.1. / Под ред. А.В. Сидоренко. – М.: Недра, 1971. – 504 с.
2. Гидрогеология СССР. Т.3. / Под ред. И.К. Зайцева. – М.: Недра, 1967. – 328 с.
3. Ильина Л., Грахов А. Бесценное богатство. Рассказ о реках и озерах Ленинградской области. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 144 с.
4. Инженерная геология СССР. В 8-ми томах. Том 1. Русская платформа, – М.: МГУ, 1978 г. – 528 с.
5. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Луга и рек бассейна Финского залива от северной границы бассейна реки Луги до южной границы бассейна реки Невы. Книга 1. Федеральное агентство водных ресурсов, 2015.
6. Тихомиров В.В. Основы гидрогеохимии. Ч. 2: Гидрогеохимические процессы. - СПб.: СПбГУ, 2014. - 484 с.

### *Статьи в сборниках:*

1. Виноград Н.А., Романова А.А. Экологическое состояние грунтовых вод деревни Даймище Гатчинского района Ленинградской области. Издательство: Инновационный центр развития образования и науки, 2015. С. 153-156.
2. Виноград Н.А., Степаненко С.С. Гидрохимическая характеристика грунтовых вод долины реки Оредеж в районе деревни Даймище в 2016 году // Труды Международного семинара. Т. 16. «Геология. Геоэкология. Эволюционная география». Издательство: СПб. РГПУ им. А.И.Герцена, 2016. С. 54-58.

### *Учебные пособия:*

1. Бродская Н.А. и др. Методическое пособие по учебной гидрогеологической практике в поселке Даймище для студентов, обучающихся по направлению гидрометеорология. – СПб.: РГГМИ, 1995. – 70 с.
2. Каюкова Е.П., Кузьмицкая О.В. Филин Р.А. Руководство к практическим занятиям по гидрогеологии: учеб. - метод. пособие. – СПб.: СПбГУ, 2013. – 50 с.
3. Тихомиров В.В. Болотникова И.В. Практикум по инженерной гидрогеологии. – Л., ЛГМИ, 1990. – 254 с.

*Фондовые материалы:*

1. Романова А.А. Закономерности многолетнего изменения химического состава природных вод района деревни Даймище (Гатчинский район Ленинградской области). Магистерская диссертация. СПб., СПбГУ, Институт Наук о Земле, 2016, 80 с. (Кафедра гидрогеологии СПбГУ)
2. Степаненко С.С. Особенности химического состава грунтовых вод района деревни Даймище в связи с вариациями состава и генезиса вмещающих пород. Выпускная бакалаврская работа. СПб., СПбГУ, Институт Наук о Земле, 2017, 55 с. (Кафедра грунтоведения СПбГУ)

*Нормативные документы:*

1. ГОСТ 31862-2012 Вода питьевая. Отбор проб. М.: Стандартиформ, 2013.
2. ГОСТ 25100 Грунты. Классификация. М.: Стандартиформ, 2005.
3. ГОСТ 12536-2014 Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. М.: Стандартиформ, 2005.
4. ГОСТ 5180-84 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. М.: Стандартиформ, 2005.
5. ГОСТ 31957-2012 Вода. Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов. М.: Стандартиформ, 2013.
6. ГОСТ 26423-85 «Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки». 1986.
7. ПНД Ф 14.1:2.1-95 Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации ионов аммония в природных и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Несслера. Москва, 2004.
8. ПНД Ф 14.1:2.2-95 Методика выполнения измерений массовой концентрации общего железа в природных и сточных водах фотометрическим методом с о-фенантролином. Москва, 2004.
9. ПНД Ф 14.1:2.95-97 Методика выполнения измерений массовой концентрации кальция в пробах природных и очищенных сточных вод титриметрическим методом. Москва, 2004.
10. ПНД Ф 14.1:2.112-97 Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации фосфат-ионов в природных и



сточных водах фотометрическим методом восстановлением аскорбиновой кислотой. Москва, 2004.

11. ПНД Ф 14.1:2.96-97 Методика выполнения измерений массовой концентрации хлоридов в пробах природных и очищенных сточных вод аргентометрическим методом. Москва, 2004.
12. ПНД Ф 14.1:2.98-97 Методика выполнения измерений жесткости в пробах природных и очищенных сточных вод титриметрическим методом. Москва, 2004.
13. РД 52.24.483-2005 Массовая концентрация сульфатов в водах. Методика выполнения измерений гравиметрическим методом. Москва, 2005.
14. СанПиН 2.1.4.1074-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Москва, 2002.

*Карты, атласы:*

1. Атлас гидрогеологических и инженерно-геологических карт СССР / Отв. ред. Н. А. Соломатина. М.: Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР, 1983.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Карта дочетвертичных образований. Центрально-Европейская серия. О-35 (Псков), (N-35), О-36 (Санкт-Петербург) Лист 1. М 1:1 000 000. ФГУП "ВСЕГЕИ" Авторы: Вербицкий В.Р., Яновский А.С., Вербицкий И.В., Васильева О.В., 2010.

## Список водопунктов, отмеченных на карте фактического материала

№ т.н.	Тип источника	Привязка	Водоносный горизонт
Грунтовые воды			
к.1	колодец	Большой проспект д.81	D <sub>2st</sub> + Q
к.2	колодец	Большой проспект д.93А ("Пожарный водоем")	D <sub>2st</sub> + Q
к.3	колодец	Большой проспект д.144	D <sub>2st</sub> + Q
к.4	колодец	Большой проспект д.184	D <sub>2st</sub> + Q
к.5	колодец	Большой проспект д.182	D <sub>2st</sub> + Q
к.6	колодец	Большой проспект д.91	D <sub>2st</sub> + Q
к.7	колодец	Большой проспект д.174а	D <sub>2st</sub> + Q
к.8	колодец	Большой проспект д.87	D <sub>2st</sub> + Q
с.9	скважина	Большой проспект д.154	D <sub>2st</sub> + Q
к.10	колодец	Большой проспект д.85	D <sub>2st</sub> + Q
с.11	скважина	ул.Набережная д.95	D <sub>2st</sub> + Q
к.12	колодец	ул.Набережная д.65	D <sub>2st</sub> + Q
с.13	скважина	ул.Набережная д.53	D <sub>2st</sub> + Q
к.14	колодец	ул.Набережная д. 49	D <sub>2st</sub> + Q
к.15	колодец	ул.Набережная д. 7	D <sub>2st</sub> + Q
к.16	колодец	ул.Набережная д.43	D <sub>2st</sub> + Q
р. 17	родник	Родник "Нитратный"	D <sub>2st</sub> + Q
к.18	колодец	колодец - пойменный у бани	D <sub>2st</sub> + Q
к.19	колодец	колодец - пойменный	D <sub>2st</sub> + Q
к.20	колодец	ул.Набережная д. 40	D <sub>2st</sub> + Q
к.21	колодец	ул.Набережная д.27	D <sub>2st</sub> + Q
к.22	колодец	колодец - пойменный	D <sub>2st</sub> + Q
пл.23	высачивание	"Пластовое высачивание"	D <sub>2st</sub>
р.24	родник	Родник у спорткафедры РГГМУ	D <sub>2st</sub>
от.25	откачка	Откачка из опытного куста скважин	D <sub>2st</sub>
Напорные воды			
с.26	скважина	Скважина на пляже базы РГГМУ	D <sub>2nr</sub>
с.27	скважина	Скважина у ворот базы РГГМУ	D <sub>2nr</sub>
с.28	скважина	Скважина базы РГГМУ	O <sub>1-2</sub>
с.29	скважина	Эксплуатационная скважина п.Батово	O <sub>1-2</sub>
Поверхностные воды			
пв.30	поверхностные воды	р.Оредеж у автомобильного моста	
пв.31	поверхностные воды	Правый приток р. Оредеж, у моста	

### Карта результатов гидрохимического опробования

Условные обозначения

- -  $\text{HCO}_3^-$
- -  $\text{Cl}^-$
- -  $\text{SO}_4^{2-}$
- -  $\text{NO}_2^-$
- -  $\text{Ca}^{2+}$
- -  $\text{Mg}^{2+}$
- -  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$

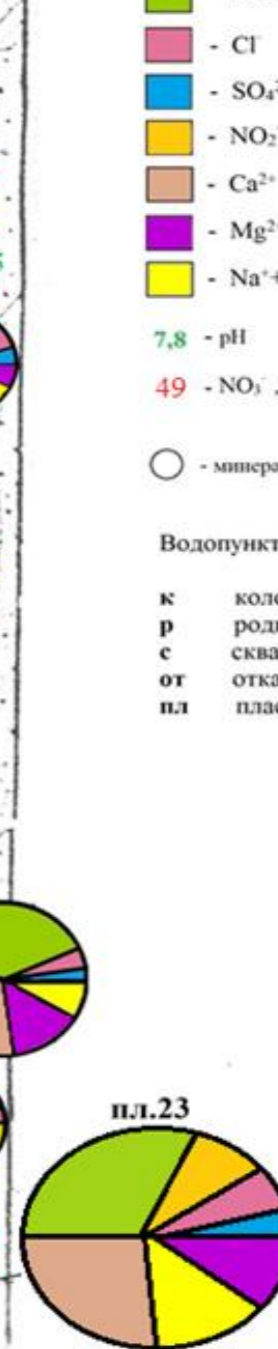
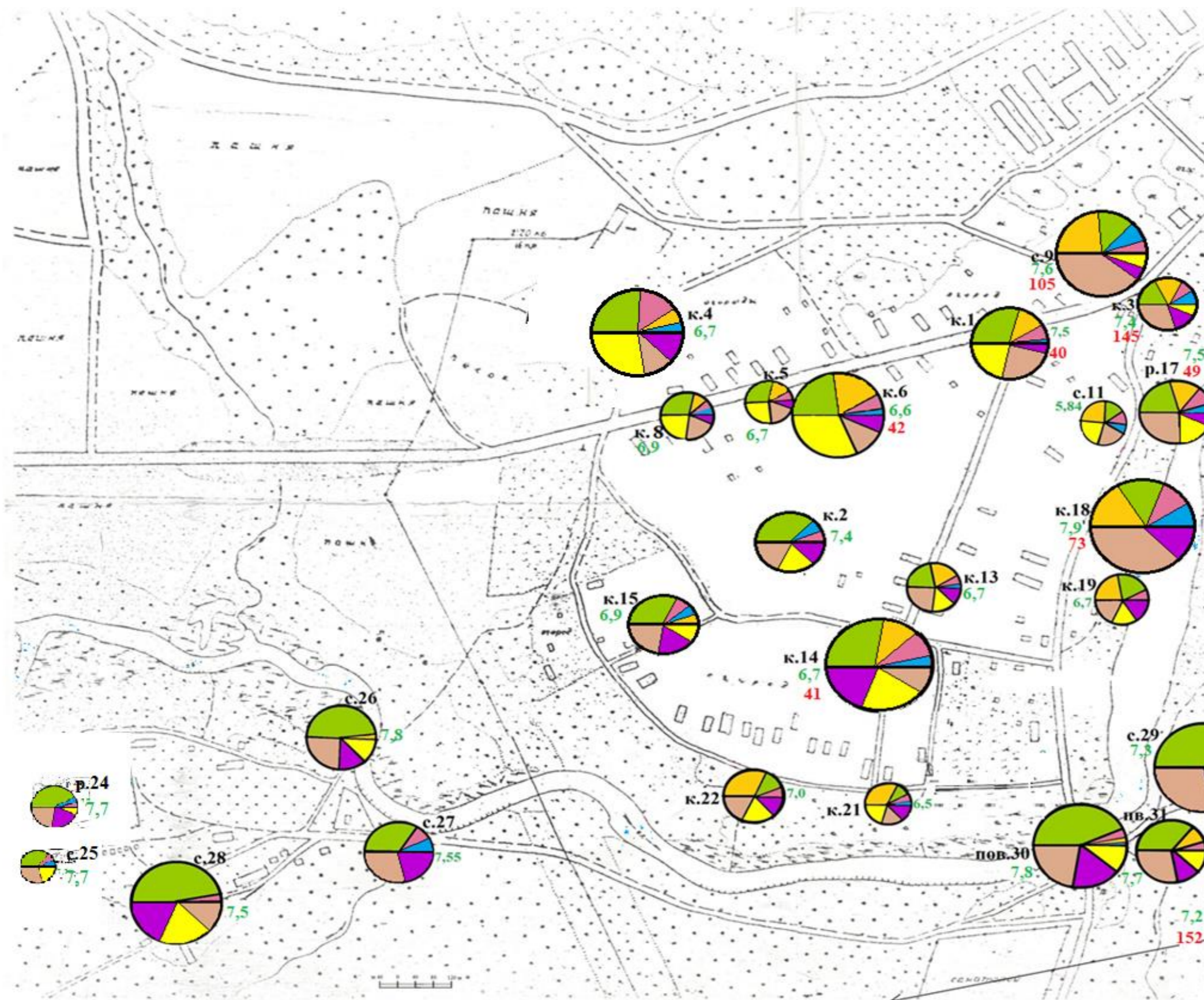
7,8 - pH

49 -  $\text{NO}_3^-$ , мг/л

○ - минерализация - 200 мг/л

Водопункты:

- к колодец
- р родник
- с скважина
- от откачка
- пл пластовое высачивание



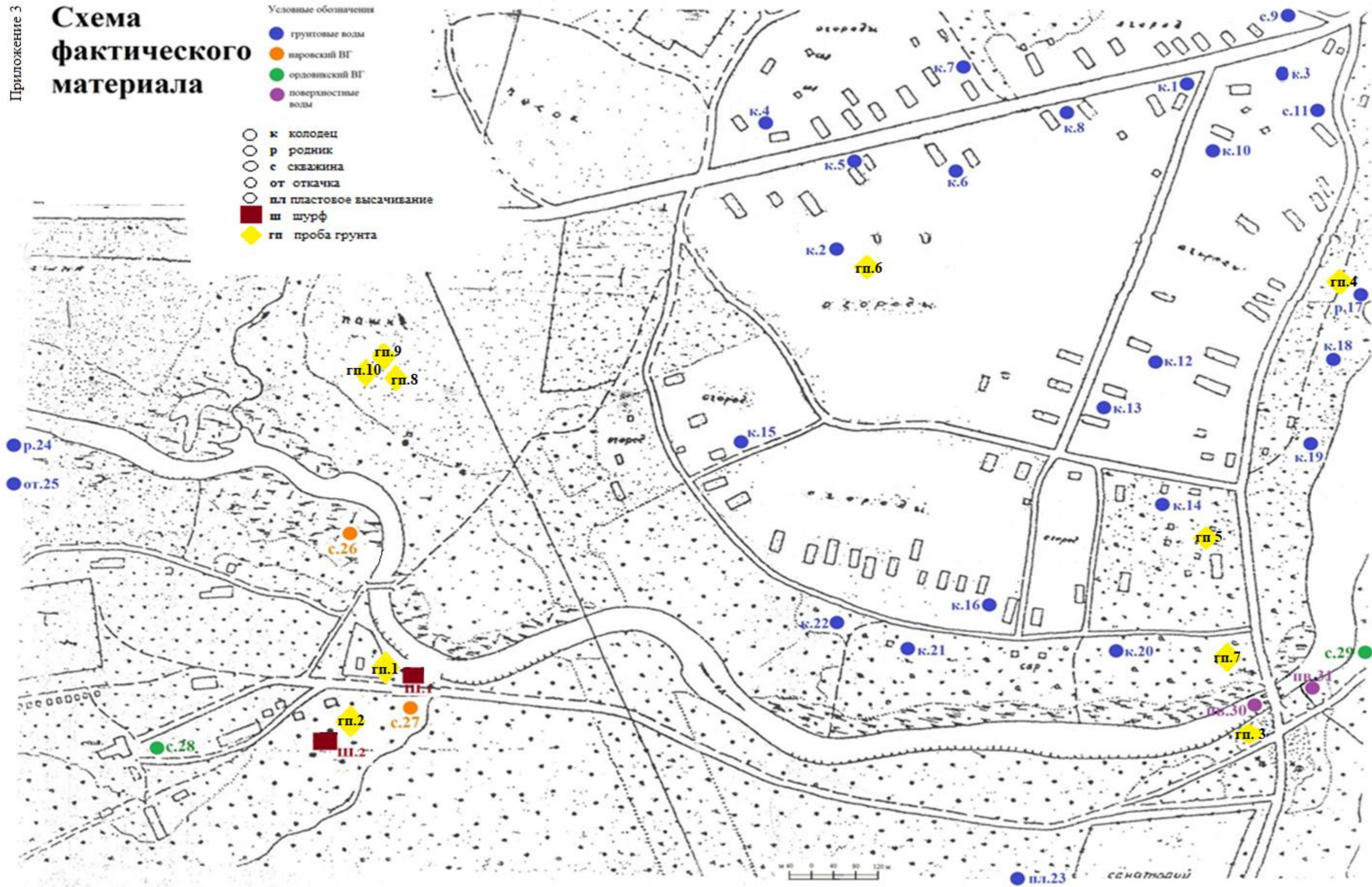
Карта выполнена по материалам гидрохимического опробования за 2018-2019 год

# Схема фактического материала

Условные обозначения

- грунтовые воды
- паровский ВГ
- орловский ВГ
- поверхностные воды

- к колодец
- р родник
- с скважина
- от откачка
- пл пластование высачивание
- ш шурф
- ◆ гп проба грунта



## Каталог проб грунтов, отобранных на разные виды исследований

Номер пробы	Место отбора	Описание грунта	Геолгический индекс	Виды исследований
1	Шурф 1 база РГГМУ, правый берег	Песок мелкий от светло-красного до ржаво-бурого цвета, влажный	D <sub>2st</sub>	Визуальное исследование, гранулометрический анализ, определение влажности, водная вытяжка
2	Шурф 2 база РГГМУ, правый берег	Песок мелкий от светло-красного до ржаво-бурого цвета, влажный	fg Q <sub>III</sub>	Визуальное исследование, гранулометрический анализ, определение влажности, водная вытяжка
3	Коренное обнажение у моста, правый берег	Песок мелкий коричневый, влажный	D <sub>2st</sub>	Визуальное исследование, водная вытяжка
4	Родник «Нитратный», левый берег	Суглинок коричневый легкий пылеватый, с включениями гравия, гальки, с частыми прослоями мелкого песка (тонкие прослой), мягкопластичной консистенции	fg Q <sub>III</sub>	Визуальное исследование, водная вытяжка
5	Надпойменная терраса, левый берег	Песок мелкий светло-коричневый, с редкими включениями гравия, дресвы, влажный	al Q <sub>IV</sub>	Визуальное исследование, водная вытяжка
6	Возле «пожарного водоема», левый берег	Суглинок коричнево-красный тяжелый пылеватый, с единичными включениями гравия, полутвердый	g Q <sub>III</sub>	Визуальное исследование, водная вытяжка
7	Пойма реки у моста на базу РГГМУ, левый берег	Песок мелкий темно-серый с гравийно-галечным материалом около 15%, влажный	al Q <sub>IV</sub>	Визуальное исследование, водная вытяжка
8	Карьер, левый берег	Песок мелкий бурого цвета, маловлажный	fg Q <sub>III</sub>	Визуальное исследование, водная вытяжка
9	Карьер, левый берег	Суглинок темно-коричневый тяжелый пылеватый, с включениями гравия, гальки, полутвердой консистенции	fg Q <sub>III</sub>	Визуальное исследование, водная вытяжка
10	Карьер, левый берег	Глина коричнево-красная пылеватая, с единичными включениями гравия, полутвердая	g Q <sub>III</sub>	Визуальное исследование, водная вытяжка