

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

Романова Анастасия Александровна

**Закономерности многолетнего изменения химического состава природных вод
района деревни Даймище (Гатчинский район Ленинградской области)**

Магистерская диссертация

по направлению 05.04.01 «Геология»

Научный руководитель:

к.г.-м.н., доцент Виноград Н.А.

Заведующий кафедрой:

к.г.-м.н., доцент Коносавский П.К.

Санкт-Петербург
2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. Физико-географические условия территории.....	4
1.1. Общая характеристика исследуемого участка.....	4
1.2. Геоморфология.....	5
1.3. Климат.....	7
1.4. Гидрографическая сеть.....	8
ГЛАВА 2. Геолого-гидрогеологические условия территории.....	11
2.1. Геологическое строение территории.....	11
2.2. Гидрогеологические условия.....	15
ГЛАВА 3. Методы исследования.....	22
3.1. Методика определения химического состава природных вод.....	22
3.1.1. Методика отбора проб воды для проведения химического анализа.....	22
3.1.2. Методика проведения химического анализа.....	23
3.2. Статистические методы.....	31
ГЛАВА 4. Гидрохимическая характеристика района дер. Даймище.....	34
4.1. Поверхностные воды.....	34
4.2. Грунтовые воды. Водоносный горизонт старооскольских и четвертичных отложений.....	36
4.3. Наровский водоносный горизонт.....	39
4.4. Ордовикский водоносный комплекс.....	40
4.5. Атмосферные осадки.....	42
ГЛАВА 5. Закономерности многолетнего изменения химического состава природных вод района деревни Даймище.....	44
5.1. Грунтовые воды. Водоносный горизонт старооскольских и четвертичных отложений.....	44
5.2. Наровский водоносный горизонт.....	57
5.3. Ордовикский водоносный комплекс.....	60
5.4. Поверхностные воды.....	65
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	70
Список литературы.....	71
Приложения.....	73

ВВЕДЕНИЕ

Магистерская диссертация посвящена изучению закономерностей многолетнего изменения химического состава природных вод района деревни Даймище (Гатчинский район Ленинградской области).

Актуальность работы связана с продолжающимся увеличением антропогенного воздействия на поверхностные и подземные воды долины реки Оредеж, обуславливающим ухудшение их качества. В частности, качество грунтовых вод дер. Даймище, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения, на протяжении многих лет не соответствует нормативным требованиям для питьевых вод.

Цель работы – выявление закономерностей многолетнего изменения химического состава природных вод района.

Задачи данного исследования – охарактеризовать общие гидрогеохимические условия участка, 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 было необходимо:

- отобрать пробы природных вод, провести полевой экспресс-анализ и лабораторный химический анализ;
- Систематизировать полевые материалы и создать базу данных многолетнего гидрохимического опробования;
- Используя созданную базу данных, проанализировать изменение химического состава подземных и поверхностных вод в период с 2007 по 2015 гг. статистическими методами.

В работе использованы материалы, полученные преподавателями и студентами кафедры гидрогеологии СПбГУ в 2007 – 2013 гг. в ходе летних учебных практик по гидрогеологии в районе дер. Даймище и базы РГГМУ, а также полевой материал за 2014 -2015 гг., полученный и проанализированный в химической лаборатории лично автором. Дается гидрохимическая характеристика участка. Для проведения регрессионного, корреляционного и факторного анализа использованы несколько наиболее характерных точек наблюдений, в которых с 2007 по 2015 гг. ежегодно производился пробоотбор и лабораторный химический анализ.

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 Рождественском сельском поселении Гатчинского района Ленинградской области.

Ленинградская область расположена на северо-западе Восточно-Европейской равнины и примыкает к Финскому заливу 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 находится в умеренных широтах северного полушария и занимает площадь 85908,8 км². В Ленинградской области 17 административных районов и 26 городов.

Исследуемый участок находится в окрестностях базы РГГМУ в деревне Даймище вблизи поселка Батово, в 12 км на запад от железнодорожной станции Сиверская и в 83 км от города Санкт-Петербург. Район исследований входит в состав Гатчинского муниципального района Ленинградской области.

В геоморфологическом отношении участок находится в южной части Ижорского плато, в долине реки Оредеж. Для территории характерен пологохолмистый рельеф.

(Бродская, 1995). Перепады высот плавные, однако, вдоль р. Оредеж на правом берегу наблюдается обрыв красноцветных песчаников.

Климат – атлантико-континентальный. Морские воздушные массы обуславливают относительно мягкую зиму с частыми оттепелями и умеренно теплое лето. Средняя температура в январе -8°C , в июле $+17^{\circ}\text{C}$. Годовое количество осадков 650-700 мм. Преобладают западные и южные ветра (Геологический атлас..., 2009).

Данную территорию дренирует р. Оредеж с многочисленными притоками, которая берет свое начало в районе урочища Донцо, является правым притоком реки Луга, впадающей в Финский залив.

На территории района исследований преобладают дерново-подзолистые и сильноподзолистые почвы. Сельскохозяйственное использование этих почв сопровождается применением различных удобрений.

Растительность обусловлена расположением территории в зоне южной тайги. Отмечается переход от коренных хвойных лесов к вторичным смешанным лесам. Также значительную площадь занимают сельскохозяйственные земли (пашни, огороды и т.д.).

Фауна района исследований разнообразна и представлена млекопитающими (лисами, зайцами, кабанам), птицами (куропатки, утки, совы, аисты, глухари, кукушки).

Большая часть местного населения занята в сельском хозяйстве, рыболовстве, а также на местной птицефабрике.

Дорожная сеть развита хорошо, основные дороги имеют асфальтовое покрытие.

В данном районе уже на протяжении 50 лет располагается база РГГМУ, где ежегодно студенты-гидрологи из РГГМУ и с 2007 года студенты гидрогеологии СПбГУ проходят летние практики. В связи с этим территорию можно считать хорошо изученной. Ежегодно отбирается 20-30 проб из трех водоносных горизонтов и поверхностных вод р. Оредеж и ее притоков на гидрохимический анализ. Существует база данных по химическому анализу природных вод с 2007 года.

1.2. Геоморфология

Территория Ленинградской области представляет собой пологохолмистую равнину, в современном рельефе которой отражены особенности геологического и тектонического строения, состава горных пород и результаты многих эндогенных и экзогенных процессов прошлого и настоящего времени.

Территория Ленинградской области находится в зоне контакта двух глобальных геологических структур - Балтийского кристаллического щита и Русской плиты. Если на севере и востоке области целые участки поверхности сложены магматическими и метаморфическими породами архейского и протерозойского возраста, сформировавшимися от 4 до 2 миллиардов лет назад, то южнее Финского залива они залегают на глубине уже порядка 100 м. На поверхности эти породы представлены только обломками древних скал - валунами, принесенными сюда ледниками.

Большая часть территории области расположена в пределах северо-западной окраины Русской плиты. Кристаллические породы фундамента перекрыты здесь субгоризонтально залегающими осадочными образованиями рифея, венда палеозоя и кайнозоя. В общем виде поверхность представляет собой ступенчатую равнину куэстового типа. Наиболее низкой ступенью является Предглинтовая низменность, поверхность которой сложена морскими послеледниковыми отложениями. Ее цоколь, погруженный на глубину до минус 50 м (в Приневской впадине), состоит из пород венда и кембрия. Дочетвертичная поверхность Предглинтовой низменности изрезана древними долинами. Абсолютные отметки дна некоторых из них располагаются на 100 м ниже уровня моря.

С юга Предглинтовую низменность ограничивает Балтийско-Ладожский уступ – глинт, прослеживающийся от реки Нарвы на западе до реки Сясь на востоке. Этот уступ сложен устойчивыми карбонатными породами ордовика. Южнее глинта расположено Ордовикское плато, западная повышенная часть которого носит название Ижорской возвышенности (высота до 168 м), а восточная – Путиловского плато. Поверхность Ижорской возвышенности и Путиловского плато осложнена многочисленными карстовыми воронками и небольшими ложбинами. Южнее Ордовикского плато располагается равнинная поверхность Главного девонского поля, наклоненная в целом в сторону долины реки Волхов котловины озера Ильмень. В междуречье Луги и Плюсы девонская поверхность рассечена густой сетью древних долин, образованных в неотектонический этап (неоген) вследствие подъема территории и усиления эрозии.

Восточную часть области занимает северная оконечность Валдайско-Онежской возвышенности (Тихвинская гряда и Вепсовская возвышенность), которая ограничена с запада Карбоновым уступом.

Вся территория Северо-запада России неоднократно подвергалась материковым оледенениям. Весь рельеф современной поверхности сформировался в результате

экзарационной (сдирающей, выпахивающей) деятельности продвигавшихся ледяных массивов, мощность которых составляла по расчетам ученых от 2 до 4 тыс. м.

Участки холмисто-моренного рельефа можно наблюдать в южной части Лужского района, на Ижорской возвышенности, но особенно широко формы ледниковой аккумуляции распространены в восточной части области – в Лодейнопольском, Подпорожском и Бокситогорском районах.

1.3. Климат

Относительная близость Атлантического океана, наличие таких крупных водоемов, как Финский залив, Ладожское, Онежское, Псковское и Чудское озера оказывают сильное влияние на климат. В целом он определяется как умеренно континентальный с чертами морского влияния. Для климата Ленинградской области характерна неустойчивость погоды в течение сезонов и на протяжении года и несходство ее в отдельные годы.

Весной нарастание температуры идет медленно, теплая погода прерывается похолоданием. Возврат холодов бывает продолжительным и объясняется вторжением арктических масс воздуха. Деятельность циклонов весной ослабевает, преобладает ясная погода.

Начало лета совпадает с концом ночных заморозков. Вначале оно бывает ясным, а к концу становится более облачным, пасмурным и дождливым и почти всегда прохладным.

Для осени характерна неустойчивость погоды, большая облачность, частые дожди, туманы, высокая влажность воздуха. Иногда в сухую осень в сентябре устанавливается теплая, солнечная погода. Осень имеет затяжной характер.

Наступление зимы растягивается на 2-3 месяца. До установления прочного покрова снег неоднократно выпадает и тает. В первую половину зимы преобладает неустойчивая мягкая погода со сплошной низкой облачностью; бывают туманы, часто выпадают осадки – снег и нередко при оттепели дождь. Во второй половине зимы в связи с вторжениями холодного арктического воздуха температура обычно сильно понижается.

Континентальность климата возрастает в восточном направлении. Годовая амплитуда температуры на востоке области на 4° больше, чем на западе. Средняя многолетняя годовая температура на западе области составляет $+4,5^{\circ}$, а на северо-востоке и востоке $+2,6^{\circ}$.

Самый холодный месяц на большей части территории Ленинградской области – январь, на западе и вблизи крупных водоемов – февраль.

Самый теплый месяц в области – июль. Средние июльские температуры колеблются в пределах от +16 до +17°.

Продолжительность периода со среднесуточной температурой воздуха выше +5° на западе и юго-западе области составляет более 175 дней.

Число дней в году со среднесуточной температурой выше +10° колеблется от 125 на юго-западе до 105-110 на востоке и северо-востоке.

Вся территория Ленинградской области находится в зоне избыточного увлажнения. Относительная влажность воздуха в среднем составляет 60 % летом и 85 % зимой. Годовое количество осадков составляет 550-850 мм.

Годовая величина испаряемости – 300-400 мм, и, следовательно, превышение осадков над испаряемостью повсюду более 200 мм, а в некоторых местах достигает даже 400 мм.

Более половины дней в году – с осадками. Максимум осадков приходится на лето и начало осени. В западных частях области с июня по сентябрь выпадает свыше 300 мм, а на востоке – 360-400 мм. Наименьшее количество осадков бывает в марте – апреле. Значительная часть осадков выпадает в виде снега. Устойчивый снежный покров лежит в западных и юго-западных районах около 110-140 дней, а на востоке – 150-160 дней. (Схема комплексного использования..., 2015)

1.4. Гидрографическая сеть

На территории Ленинградской области и Санкт-Петербурга очень много рек, озер и болот. Одна из причин этого - значительное превышение количества осадков над испарением, в избыточной влажности.

Реки и озера собирают свои воды с огромной площади, и почти вся эта огромная масса воды стекает к Финскому заливу Балтийского моря. К бассейну Балтийского моря не относятся лишь реки и озера небольшой территории, расположенной к востоку от Вепсовской возвышенности и Тихвинской гряды, - они имеют сток к Волге.

Ленинградская область в пределах Русской равнины - одна из самых «озерных». В ней более 1800 озер, а озерность (доля площади озер ко всей площади области) составляет 14%.

Ладожское озеро – самое большое из пресноводных озер Европы. Площадь его с островами – 18,3 тыс. км², а без островов – 17,7 тыс. км², длина – 200 км, ширина –

125 км. Высота его поверхности над уровнем моря – 4,3 м. Средняя глубина озера – 50 м, а наибольшая – 233 м (севернее острова Валаам).

Из-за длительного и сильного зимнего охлаждения вода в озере и летом очень холодная; она прогревается только в тонком верхнем слое в прибрежной полосе.

Онежское озеро омывает незначительную часть территории области вблизи истоков реки Свири. Это второе по величине озеро в Европе после Ладожского: его площадь – 9,9 тыс. км², длина – 245 км, а ширина – около 90 км. Средняя глубина – 31 м, а наибольшая – 120 м.

Большинство других озер ледникового происхождения образовались при таянии ледяных глыб, оставшихся после ледника, и находятся в доледниковых впадинах – ложбинах и в котловинах среди моренных холмов.

Озера расположены неравномерно. Больше всего их на Карельском перешейке, на юго-западе, а также в возвышенных районах восточной части.

Часть озер, особенно расположенных в древних речных руслах, сходна с реками: они разделены короткими перемычками и часто соединены между собой речными протоками; почти все они сточные.

Основные источники питания озер - атмосферные осадки, речные и подземные воды.

Речная сеть очень густая и разветвленная. Общая протяженность всех рек – 50 000 км, то есть почти 0,6 км на 1 кв. км территории – это больше, чем во всех других областях нашей страны.

Многие реки начинаются либо в озерах, либо в болотах на Валдайском и Псковско-Чудском водоразделах. Почти все они равнинного типа, и уклон у них небольшой: до 40 см на 1 км. Лишь там, где реки пересекают глинт и Карбоновый уступ, они образуют пороги; падения на таких участках достигает 2 - 3 м на 1 км.

В годовом стоке рек больше половины составляют талые воды, 20-30 % - подземные.

Реки, вытекающие из озер, имеют хороший сток и более или менее равномерный режим. Для остальных рек характерны половодья весной, межень – летом и зимой, подъемы уровня воды – осенью. Весенний подъем, связанный с таянием снега, бывает довольно значительным и быстрым. Летняя межень часто нарушается дождевыми паводками; на некоторых реках подъем воды в паводок бывает даже выше, чем в половодье. Зимняя межень, в отличие от летней, довольно устойчивая. Осенние подъемы, вызываемые обложными дождями, длительны, но ниже весенних и летних.

Величина стока на большей части территории области превышает 300 мм. Почти половина речного стока приходится на весну, особенно на апрель и май, и около трети – на осенние месяцы – октябрь, ноябрь.

Мелкие реки, текущие по Ордовикскому плато, питаются преимущественно подземными водами, у них небольшое колебание стока, вода их сильно минерализована.

Среди рек самые крупные Нева, Свирь, Волхов, Вуокса, Нарва, Луга (Ильина, Грахов, 1978)

Река Оредеж берет начало на южном склоне Ижорской возвышенности из небольшого водоема, образовавшегося в месте выхода ключей в районе Кюрлевского карьера и впадает в р. Лугу справа, на 195 км от её устья. В верховье зарегулирована шестью плотинами бывших малых ГЭС с водохранилищами небольшой емкости.

Река Оредеж имеет длину 192 км, площадь водосбора 3220 км². 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. В верхнем течении реки в послевоенные годы был построен каскад гидроэлектростанций: Даймищенская, Рождественская, Сиверская, Белогорская, что значительно искажает водный режим, спад весеннего половодья плавно переходит в летне-осеннюю межень (Схема комплексного использования..., 2015).

В верховье река прорезает ордовикское плато и течет по слабо всхолмленной моренной равнине. Русло умеренно извилистое. Дно песчаное, с одиночными валунами. На отдельных участках - быстрины и перекаты. В среднем течении – широкие поймы с заливными лугами. В низовье Оредеж протекает через озера Антоново и Хвойлово с широкой поймой и высоким коренным берегом.

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

Изучаемая территория приурочена к юго-восточной границе Ижорской возвышенности, расположенной на северо-западной окраине Московской синеклизы. Основной особенностью геологического строения данного района является моноклинальное залегание осадочных пород с пологим (до 4–6°) падением стратиграфических горизонтов к центру синеклизы (на юго-восток).

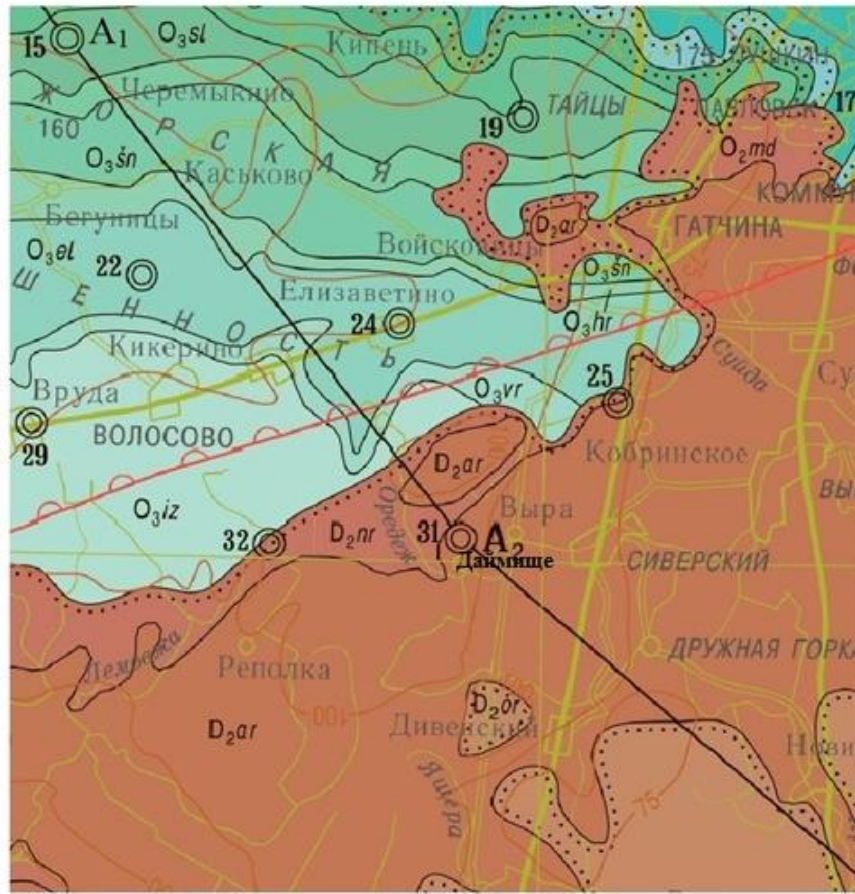
Геологическое строение изучаемой территории наглядно представлено на геологической карте (рис. 2) и геологическом разрезе (рис. 3) исследуемого участка работ.

Платформенный чехол на участке верхнего течения реки Оредеж имеет суммарную мощность до 500 м (477 м – скважина Сиверская) и представлен следующими отложениями:

- **вендскими** (котлинский горизонт) переслаивающимися песчаниками, алевролитами и глинами;
- **нижними и среднекембрийскими** (ломоносовский, лонтоваский, пиритаский и тискреский горизонты) глинами и суглинками в нижней части разреза и песчаными породами в верхней;
- **ордовикскими** (пакерортский, лээтсеский, волховский, кундаский и таллиннский горизонты) оболочными и глауконитовыми песчаниками, диктионемовыми сланцами и трещиноватыми закарстованными известняками;
- **среднедевонскими** (наровский и старооскольский горизонты) терригенно-обломочными породами преимущественно песчано-глинистого состава;
- **плейстоценовыми и голоценовыми** терригенными породами различного генезиса - ледниковыми, озерно-ледниковыми, торфяно-болотными, аллювиальными и техногенными (Гидрогеология СССР, 1967).

Наибольший интерес представляет собой самая верхняя часть разреза: зона аэрации (с возможным формированием «верховодки»); грунтовый водоносный горизонт старооскольских песчаников; региональный относительный водоупор, сложенный наровскими глинами и среднеордовикскими мергелями.

Геологическая карта дочетвертичных образований

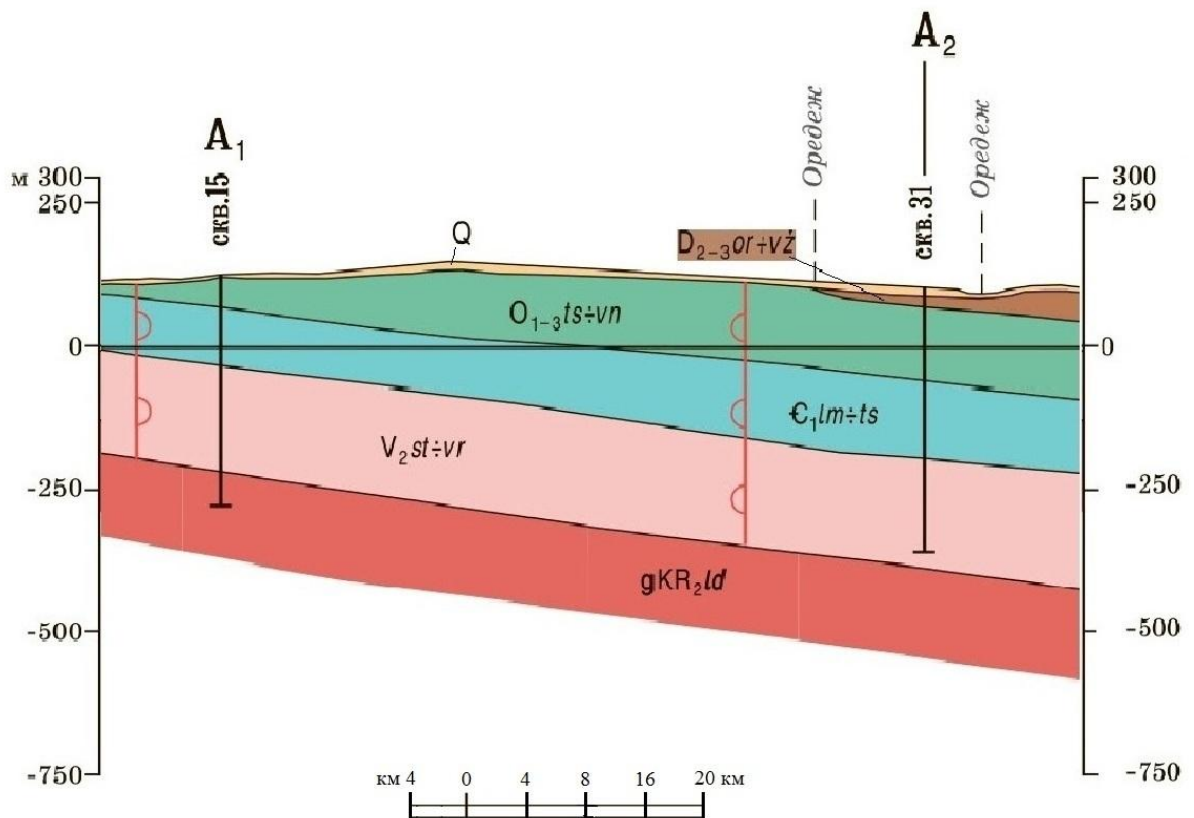


Условные обозначения геологической карты

- D_2ar Аруюласская свита – пески и песчаники красноцветные с прослоями алевролитов и глин, редко мергелей и песчаных доломитов (до 135 м)
- D_2nr Наровская свита – доломиты и мергели с прослоями глин, алевролитов и песчаников (72–99 м)
- O_3pc Печуркинская свита – известняки доломитизированные и доломиты (10–14 м); изварская свита (*iz*) – доломиты крепкие (10–30 м)
- O_3hm Хирмузская свита – известняки глинистые и мергели (до 4 м); врудская свита (*vr*) – доломиты с прослоями мергелей (1,5–5 м)
- O_3kr Куртнская свита – известняки (8–18 м); елизаветинская свита (*el*) – доломиты (8–35 м)
- O_3hr Хревицкая свита – глинистые и комковатые доломитизированные известняки и доломиты (8–16 м)
- O_3sn Шундоровская свита – глинистые известняки и доломиты (10–30 м)
- O_3gr Грязновская свита – известняки и доломиты (5–22 м). Местами из-за размыва только не более (3 м)
- O_3sl Солецкая свита – известняки и доломиты (11–22 м)
- O_2md 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 А₁ - А₂



Условные обозначения геологического разреза

Q	Нерасчлененные отложения (до 200 м)
D₂₋₃or+vz	Орежежская и важинская свиты объединенные — пески, песчанки с прослоями алевролитов и глин (до 133 м) ; буртниежская, лютинская и ямтесовская свиты объединенные (dt+jaf) — 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)
O₁₋₃ts+vn	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, полемецкая, березайская, грязновская, шундеровская, хривицкая, елизаветинская, врудская, изварская свиты объединенные (ur+iz) — доломиты, доломитизированные известняки, пески, песчанки, местами глины и алевролиты (до 300 м)
E₁lm+ts	Ломоносовская, сиверская, люкатиская, тискреская свиты объединенные — глины, алевролиты, песчанки (до 150 м) ; лежская свита (lz) — песчанки, алевролиты с прослоями глин (до 70 м)
V₂rd+nk	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)
gKR₂ld	Гранат-силлиманит-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 А₁-А₂
(Карта дочетвертичных..., 2010).

Нерасчлененные волховский, кундаский и таллиннский горизонты нижнего и среднего ордовика (O_{1-2}) сложены трещиноватыми и закарстованными известняками с прослоями доломитов и мергелей суммарной мощностью 10-55 м. Известняки отличаются друг от друга текстурными и минералогическими особенностями. Единая карбонатная толща ордовикских отложений с угловым и стратиграфическим несогласием перекрывается породами среднего девона.

Наровский горизонт среднего девона (D_{2nr}) суммарной мощностью 20-55 м, представляет собой сложно переслаивающуюся толщу глин, мергелей, песчаников и известняков, что отражает частую изменчивость режима осадконакопления в плане и во времени.

Старооскольский горизонт среднего девона (D_{2st}) характеризуется резкими изменениями суммарной мощности (от 2 до 60 м), что отражает изменчивость эрозионных процессов в плане. Горизонт сложен преимущественно средне- и мелкозернистыми слюдистыми песчаниками красного и розового цвета с маломощными (в среднем 0,3-0,5 м) линзами и прослоями гравийно-галечного материала и красноцветных глин. В песчаниках отчетливо фиксируется косая слоистость речного типа. В верхней части разреза старооскольских песчаников выделяется древняя (дочетвертичная) кора выветривания с разуплотнением песчаников и их дезагрегацией до рыхлого состояния. Ниже по разрезу залегают трещиноватые песчаники с высокой плотностью блоков (Игнатович, 1948).

Четвертичные отложения различного генезиса, как правило, имеют локальное распространение:

а) ледниковые отложения ($g Q_{III}$) занимают значительные площади на водораздельных участках и представлены красными и красно-бурыми моренными суглинками и песчанстыми глинами, желтовато-бурыми моренными суглинками и серовато-желтыми моренными валунными супесями и песками. Мощность моренных отложений варьирует от 2 до 20 м.

б) флювиогляциальные отложения ($fg Q_{III}$) 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) озерно-ледниковые отложения ($lg Q_{III}$) представлены преимущественно ленточными глинами, неслоистыми суглинками с редкими включениями гравийно-галечного материала и тонкослоистых песчаных линз. Мощность озерно-ледниковых отложений составляет 2-4,5 м;

г) торфяно-болотные отложения (р Q_{III-IV}) генетически связаны с местоположением остаточных озер, образовавшихся после отступления первого Балтийского ледникового озера, а также с современными болотными образованиями, расположенными на водораздельных или склоновых участках. Мощность торфяно-болотных отложений редко превышает 7 – 10 м;

д) аллювиальные отложения (а Q_{IV}) 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;

е) техногенные отложения (t Q_{IV}) в основном приурочены к объектам промышленного, сельскохозяйственного или бытового воздействия: транспортным магистралям, участкам обработки месторождений, строительства, мелиорации, а также складирования отходов хозяйственно-бытовой деятельности (Бродская, 1995).

2.2. Гидрогеологические условия

В гидрогеологическом отношении территория находится в пределах Ленинградского артезианского бассейна второго порядка, входящего в состав Среднерусского артезианского бассейна первого порядка Восточно-Европейской гидрогеологической области (Атлас..., 1983).

Породы на исследуемой территории сложены моноклиально залегающей толщей осадочных пород различного генезиса.

Закономерное чередование в разрезе артезианского бассейна водопроницаемых и водоупорных пород предопределило формирование пространственно выдержанных водоносных горизонтов и комплексов (рис. 4).

Региональным базисом эрозии для Ленинградского артезианского бассейна является Финский залив, уровень которого можно принимать в качестве приблизительной нижней границы зоны свободного водообмена (пресных вод).

Нижняя граница распространения пресных подземных вод в Ленинградской области находится на глубине 100-200 м, увеличиваясь до 300 и более метров на участках развития хорошо проницаемых пород (возвышенные участки на Карельском перешейке, юго-западная часть области) и сокращаясь до 0-50 м в долине реки Волхов, на Предглинтовой и Приневской низменностях.

Стратиграфические подразделения						Гидрогеологические подразделения																									
Аэрофа	Эротема	Стегам	Отдел	Ярус	Полярус	Горизонт	Идекс	Мощность, м	Колонка	Идекс	Наименование литологическая характеристика пород	Мощность, м	Глубина кровли от поверхности, м	Глубина устья от поверхности, м	Напор над кровлей, м	Удельная дебит, л/с	Коэффициент водопроводности	Минерализация воды, г/л	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						Арукулаский (Старооросльский)	D ₂ ar	40-130		2(D ₂ ef)	Верхнеэффельский-нижнефранский водоносный горизонт. Пески, песчаники с прослоями алевролитов и глины.	1-200	1-200 ⁰ до 500	(+0,7+10) -35	2-50	0,1-7,0	0,5-10,0 100-1000	1,6-2,0	SO ₄ -Cl CaNa	Широко используется для водоснабжения населения, с/х и промышленных предприятий.											
						Наровский	D ₂ nr	25-60		4(D ₂ ef, nr)	Верхнеэффельский (наровский) относительно водоупорный горизонт. Мергели, глины, доломиты.	5-60	6-100 ⁰ до 550	(+16)-17	15-45	0,02-1,0	0,03-0,05 <50	0,2-0,5 0,85-2,1	HCO ₃ MgCa SO ₄ -Cl CaNa	Эксплуатируется в ряде населенных пунктов Гостенского района.											
						Пярнуский	D ₂ pr	10-25		2(D ₂ ef)	Нижнеэффельский водоносный горизонт. Песчаники, глины.	0,3-25	8-70 ⁰	(+0,4+4,0) -21	8-64	0,13-2,2	0,2-3,0	—	0,1-0,3	HCO ₃ MgCa	Используется ограниченно из-за небольшой площади развития.										
Ордовикская						Набалаский	O ₃ nb	9-30		2(O ₃)	Ордовикский водоносный горизонт. Известняки, доломиты, прослои глины.	8-150	0,4-75 ⁰ до 550	(±1+10) -30	0-70	0,1-1,45	0,2-15,0 100-5000	0,3-0,9	HCO ₃ MgCa	Источник водоснабжения крупных городов: Красное Село, Гатчина, Ломоносов и др., а также поселков, типовых и фабричных. Может использоваться в качестве минеральных лечебно-столовых вод.											
						Раквереский	O ₃ rk	17-25																							
						Оандуский	O ₃ on	до 20																							
						Кейлаский	O ₃ kl	8-35																							
						Йыхвский	O ₃ jh	25																							
						Идаверский	O ₃ id	10-45																							
						Кукерский	O ₃ kk	25-40																							
						Ухакуский	O ₃ uh	10-18																							
						Ласнамятский	O ₃ az-ls	10-15																							
						Кундаский	O ₃ kr	5-28																							
						Волховский	O ₃ vl	4-20																							
						Латорский	O ₃ lt	0,5-10																							
						Варануский	O ₃ wr	0,3-1,0 0,1-7,0																							
						Пакерортский	O ₃ pk	12-15																							
Кембрийская						Ладожский	E ₃ ld	0,3-3,0		2(E ₃ -C)	Кембро-орловский водоносный горизонт. Пески, песчаники.	3-40	5-300 ⁰ до 870	(+0,4+10) -20	3-250	0,1-3,0	0,1-5,0 100-560	0,3-0,6	HCO ₃ MgCa Cl Na SO ₄ -Cl CaNa	Используется для водоснабжения местного населения											
						Дейменский	E ₃ dn	28-40																							
						Вергальский	E ₃ vg	18-20																							
						Доминопольский	E ₃ dm	10-15																							
						Нижний						Лонговаский	E ₁ ln	до 120		3(E ₁ ln)	Нижнекембрийский (лонговаский) водоупорный горизонт. Глины с редкими прослоями песчаников и алевролитов.	3-130	0-100 ⁰ до 900						Региональный водоупор						
												4-24		2(E ₁)	Нижнекембрийский водоносный горизонт. Песчаники, алевролиты, глины.	2-24	2-300 ⁰ до 950	3-40	1,5-350	0,001-2,5	0,01-3,0 <50-100	0,2-0,5	HCO ₃ CaNa	Служит источником водоснабжения в основном в Кингисеппском районе. Может использоваться в качестве минеральных вод.							
						Верхний						Котлинский	V ₃ kt	до 160		3(V ₃ kt)	Верхнекембрийский (котлинский) водоупорный горизонт. Глины с редкими прослоями песчаников.	10-160	5-300 ⁰ до 1000							Региональный водоупор					
												до 70		8(V ₃ kt)	Котлинский водоносный горизонт. Переслаивание песчаников, алевролитов, глины.	5-70	60-200	6-45	40-75	0,003-0,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
												10-20		8(V ₃ rd)	Верхнекембрийский (редкинский) относительно водоупорный горизонт. Глины, прослои песчаников, аргиллиты.	10-20	80-320	О.В. (+0,6+11) -70	О.В. 80-160	О.В. 0,1-3,0	О.В. —	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
												5-40		2(V ₃ rd)	Редкинский водоносный горизонт. Песчаники с прослоями глины.	5-40	90-300	6-35 (+0,4+12)	70-160	0,4-3,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Рифей						R ₃₋₃	100-300		8(R)	Рифейский водоносный комплекс. Песчаники грубозернистые, аргиллиты, алевролиты.	100-300	5-300 ⁰ до 1300	(+1+11) -25	90-107	0,02-0,06	0,04-0,11	—	0,5-0,7	HCO ₃ CaMgNa	Пресные воды широко используются для питьевого назначения в Карельском перешейке и розлива минеральных вод.											
						1,2-2,3		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—							
Архей-нижний протерозой						AR-PR ₁	Более 500		14(AR+PR)	Архей-протерозойская относительно водоупорная зона. Граниты, гнейсы, магматиты, кварцито-песчаники.	>500	100-300 ⁰ до 1800	21,5	88,5	0,04-0,06	—	0,1	HCO ₃ Na HCO ₃ -Cl Na	Используется в единичных населенных пунктах на Карельском перешейке.												

Рис.4. Гидрогеологическая стратификация дочетвертичных образований центральной части Ленинградского артезианского бассейна

С глубиной минерализация подземных вод возрастает, пресные воды сменяются солоноватыми и глубже солеными водами и рассолами.

Ресурсы подземных вод на территории бассейна распределены неравномерно. Максимальные ресурсы сосредоточены в его западной части на площади развития нижнекотлинского, ордовикского и арукуласко-швянтской горизонтов, а также в

восточной части бассейна - на площади развития каменноугольных отложений. На остальной территории бассейна ресурсы пресных вод связаны главным образом с девонскими отложениями, характеризующимися невыдержанной водообильностью (Гидрогеология СССР..., 1967).

Рассмотрим кратко основные водоносные горизонты и комплексы, залегающие на территории, приуроченной к долине реки Оредеж, и имеющие основное значение для гидрогеологической обстановки изучаемой территории.

Комплекс флювиогляциальных отложений (Q_{III})

Флювиогляциальные отложения представлены песками тонко- и разномыслистыми, однородными или с включением гравия, гальки и валунов, на отдельных участках содержат гравийно-галечниковые слои, местами линзы супесей и суглинков. Мощность флювиогляциальных отложений изменяется от 0,5 до 15,0-35,0 м, чаще до 10,0 м. Водовмещающими породами являются пески различного гранулометрического состава мощностью от 0,5 до 30 метров (Бродская, 1995).

Воды флювиогляциальных отложений эксплуатируются при помощи скважин и колодцев.

Старооскольский водоносный комплекс (D₂ st)

Старооскольскому водоносному комплексу свойственны красноцветные толщи песчано-глинистых пород. Мощность комплекса - до 205 м. Красноцветная толща, сложенная хорошо водопроницаемыми породами, представляет огромный водный коллектор.

Водообильность старооскольского комплекса в целом значительная, дебит скважин преимущественно 3-10 л/с, местами менее 3 л/с.

Воды пресные, умеренно жесткие, гидрокарбонатные магниевые-кальциевые, местами с повышенным содержанием железа. Имеются железистые источники у поселка Батово.

Режим подземных вод старооскольского горизонта в основном изучался при проведении инженерно-геологических съемок в Гатчинском, Ломоносовском и Тосненском районах Ленинградской области. Амплитуда колебания уровней подземных вод в течение года изменялась от 0,4-0,5 до 1-2 м в зависимости от глубины залегания подземных вод и их характера.

Воды комплекса имеют большое значение, так как они являются источником водоснабжения населенных пунктов.

Наровский водоносный горизонт (D₂nr)

Наровский относительно водоупорный (слабоводоносный) горизонт распространен на юго-западе Ленинградской области. Сложен слаботрещинноватыми мергелем, доломитом и известняком, глиной, встречаются прослои песков и песчаников. Неполная мощность горизонта изменяется от 5 до 30 м (Игнатович, 1948).

На большей части распространения наровский горизонт является относительным водоупором. В той части, где он выходит под четвертичные отложения, горизонт может квалифицироваться как слабоводоносный, т.к. содержит подземные воды в незначительных количествах, и для централизованного водоснабжения значения не имеет.

В изучаемом районе наровский горизонт залегает под старооскольскими отложениями, является слабоводоносным, напорным. Статический уровень устанавливается на отметках около +1 м от земной поверхности (скважина в долине р. Ордеж, пойменная терраса, база РГГМУ). Воды жесткие, преимущественно гидрокарбонатные, магниевые-кальциевые, пресные.

Ордовикский водоносный комплекс (O₁₋₃)

Ордовикский водоносный комплекс карбонатных пород распространен к югу от Балтийско-Ладожского глинта. Простираение слоев субширотное, падение очень пологое на юг и юго-восток под углом 10-15° (Гидрогеология СССР, 1967).

В северной части распространения (в полосе до 10 км), а также на Ижорской возвышенности, Волховском плато и Сланцевском участке залегает под четвертичными отложениями - валунами, суглинками. В остальной части комплекс перекрывается наровскими отложениями мощностью 10-60 м, здесь его глубина залегания возрастает в юго-восточном направлении до 190 м. Водовмещающие породы - трещиноватые и закарстованные известняки и доломиты. Мощность комплекса увеличивается в юго-восточном направлении от 5 до 130 м. Степень трещиноватости карбонатных толщ неоднородна как в плане, так и в разрезе. Наиболее интенсивно трещиноватость пород развита на Ижорской возвышенности (до глубины 40-50 м). Коэффициент водопроводимости на большей части плато составляет 500-2500 м²/сут, достигая на отдельных участках (Ижорский, Витино, Клясино) 10000 м²/сут. В пределах Волховского плато, на южной периферии Ижорской возвышенности и к западу от нее, известняки характеризуются меньшей трещиноватостью и наличием прослоев глин, в связи с чем фильтрационные свойства пород значительно падают и оцениваются коэффициентом водопроводимости до 500 м²/сут.

По мере погружения водоносного комплекса под девонские отложения трещиноватость карбонатных пород уменьшается. На юге территории она сохранилась лишь в верхней части толщи (раквереский горизонт) мощностью до 22 м, коэффициент водопроницаемости здесь не превышает 100 м²/сут. Ниже породы ордовика монолитны и могут считаться водоупорными. Воды комплекса безнапорные и слабонапорные. Величина напора увеличивается в юго-восточном направлении от 2 до 190 м. Питание подземных вод атмосферное. Наиболее существенной областью питания является Ижорская возвышенность, определяющая движение подземных вод на территории, значительно выходящей за пределы собственно Ордовикского плато. Основной подземный водораздел на Ижорском плато проходит от его центра на юго-восток между реками Оредеж - Луга. Разгружается водоносный комплекс через родники, приуроченные к периферии Ордовикского плато, а также в нижележащий кембро-ордовикский водоносный комплекс и в сторону регионального погружения пород.

Глубина залегания уровня изменяется от 1 до 30 м. Движение потока подземных вод на территории плато происходит от его центральной части к периферии. В юго-восточной части территории, где ордовикский водоносный горизонт погружается под среднедевонские образования, подземные воды приобретают напор до 40 м.

Дренажное осуществляется вдоль глинта, о чем свидетельствуют многочисленные родники. Дебиты отдельных родников составляют 20-35 л/с, а суммарный дебит групп родников достигает 150-280 л/с. Родники дают начало многим ручьям и рекам, протекающим по Предглиновой низменности (реки Черная, Ижора, Дудергофка и др.). Во всех случаях выявляются два максимума - весенний и осенний.

Удельный дебит скважин колеблется от 0,2 до 20,0 л/с, чаще 0,3-0,5 л/с, величина водопроницаемости по площади изменяется от 100 до 5000 и более м²/сут (Схема комплексного использования..., 2015).

Воды ордовикского горизонта химическому составу гидрокарбонатные кальциево-магниевые, реже магниевые-кальциевые. Вдоль границы распространения минерализованных вод состав их меняется на гидрокарбонатно-хлоридный со смешанным катионным составом, на юго-восточной и восточной окраинах Волховского плато - на гидрокарбонатно-сульфатный. Воды жесткие. Минерализация увеличивается в юго-восточном направлении от 0,2 до 0,8 г/дм³. В южной части распространения воды соответствуют требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01. В северной части водоносный комплекс не защищен от загрязнения с поверхности, поэтому на селитебных территориях и сельскохозяйственных предприятиях наблюдаются отклонения качества воды от нормы. Источниками загрязнения являются дефектные канализационные

коллекторы, птицефабрики, фермы, свинофермы, пахотные угодья, куда вносятся минеральные и органические удобрения. Вокруг этих объектов сформировались ореолы некондиционных подземных вод (бактериологическое загрязнение и повышенное содержание нитратов). На отдельных участках Ижорской возвышенности установлено, что по качеству подземные воды отвечают требованиям, предъявляемым к экологически чистым подземным питьевым водам. Это участки, расположенные вне селитебных зон, а также в той части комплекса, где он залегает под девонскими отложениями (Игнатович, 1948; Гидрогеология СССР, 1967).

Воды комплекса имеют большое практическое значение. На территории комплекса имеется много артезианских скважин. По степени водообеспеченности Ордовикское плато является одним из наиболее обеспеченных районов Ленинградской области.

Кембро-ордовикский водоносный комплекс (Є₁ - О₁)

Кембро-ордовикский водоносный комплекс распространен к юго-востоку от Балтийско-Ладожского уступа (глинта). В пределах узкой полосы вдоль глинта он залегает под четвертичными отложениями на глубине 1 - 10 м, на остальной территории перекрыт отложениями ордовика, где глубина его залегания увеличивается в юго-восточном направлении от 10 до 400 м. Подстиляется водоносный комплекс глинами лонтоваского водоупорного горизонта. Водовмещающие породы - песок и слабосцементированный песчаник с маломощными прослоями глин и алевролитов. Мощность водоносного комплекса увеличивается в юго-восточном направлении и составляет 2-60 м. Фильтрационные свойства пласта характеризуются коэффициентом водопроводимости 50-300 м²/сут, зависящим от мощности пласта. Воды комплекса напорные и высоконапорные. Безнапорные и слабонапорные воды встречаются лишь в узкой приглинтовой полосе. Величина напора изменяется от первых метров до 340 м (у южной границы Ленинградской области). Уровни подземных вод устанавливаются на глубинах 0,7-26 м. Формирование подземных вод происходит за счет их перетекания из ордовикского водоносного комплекса, и разгрузка в сторону регионального погружения и через действующие водозаборы и дренажные шахты. На большей части распространения комплекс характеризуется естественным режимом. Исключение составляют районы г. Сланцы, Кингисеппского месторождения фосфоритов и г. Тосно. В результате интенсивной эксплуатации скважинами и дренажа шахтами и карьерами в Кингисеппско-Сланцевском горнопромышленном районе образовалась обширная депрессионная воронка радиусом 30 км и снижением напоров в её центре на 65-70 м. На водозаборе г. Тосно при среднемноголетнем водоотборе 4,8 тыс.м³/сут снижение

уровня достигло 24 м. Как источник водоснабжения кембро-ордовикский ВК наибольшее значение имеет в приглинтовой полосе, особенно в северной части Волховского плато, где вышележащие ордовикские известняки в значительной мере дренированы.

Кембро-ордовикский водоносный комплекс содержит гидрокарбонатные кальциевые воды с минерализацией 0,2-0,5 г/дм³. По химическим, бактериологическим и органолептическим показателям подземные воды в основном соответствует требованиям норм СанПиН 2.1.41071-01. Отмечено несколько завышенное природное содержание брома, бария и марганца. Практически на всей площади распространения подземные воды представляют интерес для поисков и разведки участков с экологически чистыми питьевыми водами (Игнатович, 1948; Гидрогеология СССР, 1967). На изучаемом участке комплекс не вскрывается.

Вендский нижнекотлинский водоносный комплекс (Vkt₁)

Комплекс сложен песчаниками и алевритами, перемежающимися с глинами и аржиллитами, в нижней части разреза часто встречаются грубозернистые песчаники и гравелиты. На Ордовикском плато мощность комплекса составляет 40 – 80 м. Кровля комплекса погружается в южном и юго-восточном направлении от 100 м в районе г. Сосновый Бор до 400-450 м у южной границы плато. Воды комплекса напорные. К югу величина напора возрастает от 110-130 м в Санкт-Петербурге до 600 м в Луге.

Водоносными горными породами в нижнекотлинском комплексе являются трещиноватые песчаники, алевролиты и гравелиты. Воды трещинно-пластовые, напорные. Водообильность горизонтов изменчива. Удельный дебит скважин изменяется от 0,01 до 0,4 л/с, водопроницаемость 3-70 м²/сут (Схема комплексного использования..., 2015).

В глубоких впадинах фундамента нижнекотлинский комплекс содержит крепкие рассолы (более 100 г/л) с промышленным содержанием брома. Наряду с увеличением степени минерализации и содержания брома с глубиной увеличивается и температура подземных вод.

В хлоридных водах вендского комплекса обычно присутствует недиссоциированная метаборная кислота, содержание которой возрастает по мере увеличения общей минерализации подземных вод. Радиоактивность хлоридных вод обычно слабая. По составу растворенных газов воды азотные (Игнатович, 1948; Гидрогеология СССР, 1967).

На изучаемой территории вендский горизонт скважинами не вскрывается и практического значения не имеет.

ГЛАВА 3. Методы исследования

3.1. Методика определения химического состава природных вод

С целью изучения химического состава подземных вод проводились полевые исследования и отбирались пробы воды на химический анализ. В полевые работы входило описание водопунктов, определение величины pH и Eh воды, удельной электропроводности, температуры (карманными приборами HANNA instruments), производилась консервация проб для определения содержания общего железа. В лаборатории определялись макрокомпоненты (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+) и второстепенные компоненты (Fe , NO_2^- , NH_4^+ , NO_3^-). Все исследования проводились по методикам, установленным Государственными стандартами.

Лабораторные работы проводились на базе гидрохимической лаборатории кафедры гидрогеологии Института наук о Земле СПбГУ.

В рамках написания данной работы было отобрано и проанализировано около 40 проб из трех водоносных горизонтов и поверхностных вод в течение 2014-2015 гг.

3.1.1. Методика отбора проб воды для проведения химического анализа

Первым шагом для проведения грамотного химического анализа является правильный пробоотбор по установленным стандартам (Виноград, Каюкова, 2007).

Место и время отбора проб определяют в зависимости от цели анализа в наиболее характерных точках на исследуемом участке.

Перед отбором проб, в соответствии с программой отбора проб, определяют номенклатуру показателей состава и свойств воды, которые подлежат анализу незамедлительно после отбора проб на месте отбора. Показатели, подлежащие анализу на месте отбора проб, должны быть указаны в нормативных документах на метод определения показателя.

Методы отбора, подготовки к определению состава и свойств, транспортированию и хранению проб воды должны обеспечивать неизменность состава проб в интервале времени между отбором проб и их анализом.

Объем пробы устанавливается в зависимости от числа определяемых показателей и вида анализа в соответствии с нормативными документами на метод определения показателя.

Для сведения к минимуму изменений состава проб воды в течение времени, необходимого на отбор, подготовку, упаковку, транспортирование и хранение проб, эти процедуры следует выполнять в возможно короткий промежуток времени.

Если контакта пробы с воздухом следует избегать, емкость следует заполнить водой полностью и затем немедленно герметично закрыть.

Для доставки в лабораторию емкости с пробами упаковывают в тару, обеспечивающую их сохранность и предохраняющую от резких перепадов температур.

Упаковка отобранных проб должна соответствовать условиям транспортирования.

Условия хранения должны исключать воздействие света и повышенных температур на пробы воды. Не допускается совместное хранение проб воды и химических веществ (ГОСТ Р 51593-2000..., 2008).

3.1.2. Методика проведения химического анализа

Для определения каждого компонента используются соответствующие государственные стандарты (ГОСТы), регламентирующие, какие методы и оборудование следует применять для анализа.

При проведении лабораторных работ для данного исследования использовались ГОСТы, которые лучше всего подошли для данных условий, диапазонов концентраций и целей работы.

Рассмотрим методику определения каждого компонента более подробно.

Титриметрический анализ – это метод количественного анализа, основанный на измерении объёма раствора с точно известной концентрацией реактива, требующегося для реакции с данным количеством определяемого вещества. С помощью этого метода были определены гидрокарбонаты, хлориды, кальций и величина общей жесткости.

В титриметрическом методе используются реакции осаждения, кислотно-основные, окислительно-восстановительные, комплексообразования и др. Основные требования к применяемым в титриметрическом анализе реакциям — взаимодействие быстрое, в стехиометрических соотношениях, без побочных реакций, искажающих результаты анализа.

Количество исследуемого вещества при титриметрическом анализе определяют путем титрования: к точно отмеренному объему раствора исследуемого вещества постепенно приливают раствор другого вещества известной концентрации до тех пор, пока его количество не станет химически эквивалентным количеству исследуемого вещества. Состояние эквивалентности называется точкой эквивалентности титрования. Применяемый для титрования раствор реактива известной концентрации называют

титрованным раствором (стандартным раствором, титрантом): точная концентрация титрованного раствора может быть выражена титром (г/мл), нормальностью (экв/л) и др.

К реакциям, используемым при титриметрическом анализе, предъявляются следующие требования: вещества должны реагировать в строго количественных (стехиометрических) отношениях без побочных реакций, реакции должны протекать быстро и практически до конца; для установления точки эквивалентности необходимо применять достаточно надежные способы, влияние посторонних веществ на ход реакции должно быть исключено. Кроме того, желательно, чтобы при титриметрическом анализе реакции протекали при комнатной температуре.

Точку эквивалентности в титриметрическом анализе определяют по изменению окраски титруемого раствора или индикатора, вводимого в начале или в процессе титрования, изменению электропроводности раствора, изменению потенциала электрода, погруженного в титруемый раствор, изменению величины тока, оптической плотности и др.

Одним из широко применяемых способов фиксации точки эквивалентности является индикаторный метод. Индикаторы — вещества, которые дают возможность установить конечную точку титрования (момент резкого изменения окраски титруемого раствора). Наиболее часто индикатор добавляют ко всему титруемому раствору (внутренний индикатор). При работе с внешними индикаторами периодически берут каплю титруемого раствора и смешивают с каплей раствора индикатора или помещают на индикаторную бумагу (что приводит к потерям анализируемого вещества).

При анализе маломинерализованных вод целесообразно применять титрованные растворы с пониженной концентрацией (0,02–0,03 моль/л), которые могут быть получены соответствующим разбавлением более концентрированных титрованных растворов дистиллированной водой.

Ошибки в титриметрическом анализе могут быть методическими и специфическими, обусловленными особенностями данной реакции. Методические ошибки связаны с особенностями метода титрования и зависят от погрешностей измерительных приборов, калибровки мерной посуды, пипеток, бюреток, неполного отекания жидкостей по стенкам мерной посуды (Алексеев, 1972).

Определение содержания ионов гидрокарбоната (HCO_3^-). Определение велось согласно ГОСТ 52963-2008 «Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов».

Проводили анализ титриметрическим методом. Для титрования использовалась соляная кислота с концентрацией 0,01 или 0,1 моль/дм³; индикатор – смесь бромкрезолового зеленого(0,200 г) и метилового красного (0,015 г). Отслеживался переход окраски из голубого в желтый.

Далее происходила обработка полученных результатов:

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

Где X - содержание определяемого компонента в мг-экв/л;

V_p - количество миллилитров реактива, затраченного на титрование;

N_p - концентрация реактива;

V_{np} - объем анализируемой воды для анализа.

Для расчета содержания компонентов в мг/л следует X умножить на молярную массу гидрокарбонатов = 61 г/моль.

Далее 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 (Cl⁻). Определение велось согласно ПНД Ф 14.1:2.96-97 «Методика выполнения измерений массовой концентрации хлоридов в пробах природных и очищенных сточных вод аргентометрическим методом».

Проводили анализ титриметрическим методом. Для титрования использовалось азотнокислое серебро (AgNO₃) с концентрацией 0,01 моль/дм³; индикатор – раствор хромата калия, 10% . При этом лимонно-желтая окраска раствора переходит в красновато-оранжевую, обусловленную осадком хромата серебра.

Далее происходила обработка полученных результатов:

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

Где X - содержание определяемого компонента в мг-экв/л;

V_p - количество миллилитров реактива, затраченного на титрование;

N_p - концентрация реактива;

V_{np} - объем анализируемой воды для анализа.

Для расчета содержания компонентов в мг/л следует X умножить на молярную массу хлора = 35,45 г/моль.

Далее все результаты заносятся в таблицу.

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

Определение величины общей жесткости ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$). Жесткость воды является одним из основных показателей, обуславливающих применение воды в различных отраслях.

Жесткостью воды называется совокупность свойств, обусловленных содержанием в ней щелочноземельных элементов, преимущественно ионов кальция и магния.

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

Для титрования использовался раствор трилона Б с концентрацией 0,01 или 0,1 моль/дм³; добавлялось 3мл аммиачного буферного раствора, затем сухая смесь индикатора хромогена черного и хлорида натрия . Отслеживался переход окраски пробы из винно-красного в голубой.

Далее происходила обработка полученных результатов:

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

Где X - содержание определяемого компонента в мг-экв/л;

V_p - количество миллилитров реактива, затраченного на титрование;

N_p - концентрация реактива;

V_{np} - объем анализируемой воды для анализа.

Далее все результаты заносятся в таблицу.

ПДК общей жесткости для водных объектов хозяйственно-питьевого 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».

Для титрования использовался раствор трилона Б с концентрацией 0,01 или 0,1 моль/дм³; добавлялось 2 мл NaOH с концентрацией 8%, сухая смесь индикатора мурексида. Фиксировался переход окраски пробы из розовой в фиолетовую.

Далее происходила обработка полученных результатов:

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

Где X - содержание определяемого компонента в мг-экв/л;

V_p - количество миллилитров реактива, затраченного на титрование;

N_p - концентрация реактива;

V_{np} - объем анализируемой воды для анализа.

Для расчета содержания компонентов в мг/л следует X умножить на молярная масс кальция = 20 г/моль.

Далее все результаты заносятся в таблицу.

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

Зная величину общей жесткости и кальция, мы можем рассчитать значение иона магния, полученное значение будет в мг-экв/л. Далее полученное значение следует умножить на молярную массу магния = 12 г/моль и получить значение содержания компонентов в мг/л.

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

Определение содержания ионов натрия (Na^+). Натрий получаем расчетным путем. Исходя из известных значений анионов и известных катионов, получаем значение в мг-экв/л. Далее полученное значение умножаем на молярную массу натрия = 23 г/моль, получившееся значение содержания компонентов выражено в мг/л.

ПДК натрия для водных объектов хозяйственно-питьевого 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 брали 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/дм³;

m_1 - масса тигля с осадком, мг;

m_2 - масса тигля, мг;

0,4115 - фактор пересчёта;

V - объём аликвоты пробы воды, взятый для анализа, см³;

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 основывается на измерении электродвижущих сил и выполняется с помощью электроизмерительных приборов. Этим методом определяли содержание нитратов.

Анализ основан на измерении потенциала электрода, погруженного в раствор. Потенциал такого электрода зависит от концентрации соответствующих ионов в

растворе и от тех изменений электрохимических свойств раствора или самого определяемого вещества, которые протекают в процессе химических реакций.

Для потенциометрических измерений применяют электрохимические цепи, содержащие два электрода: индикаторный и электрод сравнения. Если оба электрода погружены в анализируемый раствор, то такая цепь называется цепью без переноса. Если электрод сравнения соединяют с анализируемым раствором через жидкостный контакт (солевой мостик), то цепь называется цепью с переносом (Плэмбек, 1985).

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 - 121 NO_3 . Измерительный электрод был откалиброван в диапазоне от 0 до 200 мг/л содержания NO_3^- . Калибровка измерительного электрода проводилась согласно инструкции по эксплуатации электродов. Результат получали в мг/л. Далее все результаты заносятся в таблицу.

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 НАСН 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. Далее все результаты заносились в таблицу.

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 р-ра молибдата аммония, 50 мл р-ра аскорбиновой кислоты и 25 мл р-ра 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. Далее все результаты заносились в таблицу.

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

Определение количества общего железа ($\text{Fe}_{\text{общ}}$). 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 гидроксилamina 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. Далее все результаты заносились в таблицу.

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

3.2. Статистические методы

Статистический метод предполагает применение вероятностных методов к изучаемым явлениям, при котором вводятся некоторые средние (осередненные) характеристики по большому числу элементов, входящих в рассматриваемую систему.

Для изучения химического состава природных вод и выявления связей между отдельными факторами в данной работе использовался ряд статистических методов: регрессионный, корреляционный и факторный анализ. Результаты представлены в виде таблиц и графиков. Ниже рассматриваются основные принципы примененных методов анализа.

Регрессионный анализ

Регрессия - величина, выражающая зависимость среднего значения случайной величины y от значений случайной величины x .

- В регрессионном анализе один из признаков зависит от другого. Первый (зависимый) признак называется в регрессионном анализе *результующим*, второй (независимый) – *факторным*. Не всегда можно однозначно определить, какой из признаков является независимым, а какой – зависимым. Часто связь может рассматриваться как двунаправленная.

Уравнение регрессии выражает среднюю величину одного признака как функцию другого.

В работе применялась линейная регрессия – вида линейной функции:

$$y = a + b \cdot x + E.$$

Этапы анализа:

- выявление наличия взаимосвязи между признаками (построение соответствующих графиков);
- определение формы связи;
- определение силы (тесноты) и направления связи.

Корреляционный анализ

Корреляция - величина, отражающая наличие связи между явлениями, процессами и характеризующими их показателями. Корреляционная зависимость - определение зависимости средней величины одного признака от изменения значения другого признака.

Коэффициент корреляции:

- принимает значения в диапазоне от -1 до +1;
- безразмерная величина;
- показывает силу связи между признаками;
- знак коэффициента говорит о направлении связи.

Существует также следующая классификация корреляционных связей (по Ивантер Э.В., Коросову А.В., 1992):

Тип связи	Коэффициент корреляции
сильная или тесная	$r \geq 0,70$
средняя	0,50 - 0,69
умеренная	0,30 - 0,49
слабая	0,20 - 0,29
очень слабая	$r \leq 0,19$

Анализ проводился с помощью редактора Excel. Для выявления степени взаимосвязи, прежде всего, необходимо создать таблицу Excel. Затем вычисляется значение коэффициента линейной корреляции следующим образом: используется специальная функция **КОРРЕЛ** (**массив1**; **массив2**), где **массив 1** – ссылка на диапазон ячеек первой выборки (X); **массив 2** – ссылка на диапазон ячеек второй выборки (Y).

Дисперсионный анализ

Дисперсионный анализ — метод в математической статистике, направленный на поиск зависимостей в экспериментальных данных путём исследования значимости различий в средних значениях. Метод позволяет сравнивать средние значения трех и более групп. Разработан Р.Фишером для анализа результатов экспериментальных исследований.

Факторный анализ является разновидностью дисперсионного анализа и особенно эффективен при исследовании явлений, имеющих сложную структуру, которая описывается большим числом наблюдаемых переменных. При этом в модели факторного анализа предполагается взаимосвязанность измеряемых величин (они коррелируют друг с другом), что обусловлено некой причиной (величиной, процессом, *фактором*), которую непосредственно измерить нельзя (Иберла, 1980).

Задача состоит в том, чтобы по большому числу экспериментальных данных выявить такие гипотетические факторы. Их число должно быть меньше набора исходных переменных, а структура факторов и их взаимосвязь – максимально просты.

Гидрогеологические системы характеризуются совокупностью многих признаков (переменных): содержание макрокомпонентов и микрокомпонентов, температура, минерализация, рН, Eh, мощность водоносного горизонта и т. д. Каждый признак (интенсивность его проявления) контролируется, как правило, несколькими независимыми процессами (факторами), например, составом водовмещающих пород, климатическими условиями, мощностью зоны аэрации, глубиной залегания, техногенными факторами и др. Непосредственно измерить процесс невозможно.

В данной работе применен двухфакторный дисперсионный анализ с повторениями и без повторений.

Представление матрицы исходных данных: данные для задач двухфакторного дисперсионного анализа записывались в виде прямоугольной таблицы, каждая строка которой – данные по уровням первого фактора, столбцы – данные по уровням второго фактора. Анализ проводился с помощью встроенного пакета «анализ данных» редактора Excel, в котором результаты анализа выводятся в виде таблицы. Для оценки влияния фактора производится сравнение рассчитанных программой значения критерия Фишера (F расч.) с его критическим значением (F кр.). Если расчетное значение превышает критическое, значит, имеется статистически значимая разница между массивами данных, обусловленная влиянием исследуемого фактора.

ГЛАВА 4. Гидрохимическая характеристика района дер. Даймище

Данная глава написана на основании результатов полевых и лабораторных исследований, проведенных в 2007 – 2015 годах в ходе учебных практик по гидрогеологии и сбора материалов для написания магистерской работы. Пробоотбор проводился ежегодно в летнее время, кроме того в декабре 2015 г. было отобрано 9 проб из наиболее представительных водопунктов.

С целью изучения химического состава подземных вод проводились полевые исследования и отбирались пробы воды на химический анализ. В полевые работы входило определение величины рН и Eh воды, ее минерализации по солемеру УЭП, температуры, консервация проб для определения Fe общ. В лаборатории титриметрическим методом был определен макрокомпонентный состав: Cl^- , HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} и общая жесткость. Содержание Fe, NO_2^- , NH_4^- определялось фотоколориметрическим методом с помощью фотоколориметра НАСН DR-890. Содержание SO_4^{2-} определялось весовым методом. Потенциометрическим методом с помощью ионометра И-500 было определено содержание NO_3^- в пробах воды. Все исследования проводились по методикам, установленным Государственными стандартами, методы анализа подробно описаны в главе 3.

На изучаемой территории присутствуют естественные выходы и искусственные вскрытия подземных вод трех водоносных горизонтов. Исследовались также поверхностные воды реки Оредеж (Приложение 1).

4.1 Поверхностные воды

Изучаемый участок находится в верхнем течении реки Оредеж, примерно в 15 км от ее истока. Река берет свое начало на Ордовикском плато в районе дер. Донцо, исток представляет собой высокодебитный групповой родник, выходящий из ордовикских известняков. Река Оредеж имеет длину 192 км, русло довольно 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)

Особенностью гидрологического режима реки является ее достаточно большая глубина и высокая скорость течения, поэтому значительная часть загрязняющих веществ не накапливается на дне, а сносится в дальнейшем в Балтийское море. Это подтверждается характером донных отложений (Ильина, Грахов, 1978).

Некоторые результаты химического анализа проб из реки Оредеж, отобранных в 2007-2015 годах, приведены в таблице 1.

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

год	Содержание макрокомпонентов, мг/л								Общая минерализация, мг/л
	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	
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 (лето)	298,9	14,5	31,7	60,0	34,8	1,61	<0,05	10,8	452,34
2015 (зима)	373,6	17,1	16,46	36,0	52,2	21,9	0,9	9,5	526,69

Формулы Курлова:

$$2015 \text{ год (лето)} : M_{0,524} \frac{HCO_3^- 87}{Mg^{2+} 43 Ca^{2+} 43}$$

$$2015 \text{ год (зима)} : M_{0,526} \frac{HCO_3^- 86}{Mg^{2+} 61, Ca^{2+} 25}$$

По преобладающим компонентам воды в реке Оредеж гидрокарбонатные магниевые-кальциевые. Общая минерализация – в пределах 520 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.

Вследствие того, что район находится в верхнем течении р. Оредеж, химический состав речной воды определяется главным образом составом вод истока, и в меньшей степени – составом грунтовых вод, пополняющих речной сток. Речные воды имеют гораздо более высокую минерализацию и жесткость по сравнению с грунтовыми водами, и состав воды в районе дер. Даймище имеет больше сходства с составом воды истока (дер. Донцо), чем с грунтовыми водами.

По преобладающим компонентам воды истока реки Оредеж в деревне Донцо гидрокарбонатные кальциевые-магниевые. Общая минерализация – в пределах 440 мг/л,

общая жесткость 5,5 мг-экв/л. Содержание всех определенных компонентов не превышает ПДК.

$$\text{дер. Донцо : } M_{0,437} \frac{HCO_3^- 89}{Mg^{2+} 64 Ca^{2+} 30}$$

Довольно большое влияние на формирование режима и химического состава оказывают техногенные факторы, влияние которых по долине реки Ордеж усиливается. На изучаемом участке 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 на химический состав поверхностных вод.

4.2 Грунтовые воды. Водоносный горизонт старооскольских и четвертичных отложений (D_{2st} + Q).

Грунтовые воды вскрываются на изучаемой территории множеством частных и общественных колодцев, неглубоких скважин (левый берег р. Ордеж, деревня Даймище), кроме того каптированными родниками и пластовыми высачиваниями на обоих берегах. На правом берегу, в районе базы РГГМУ, пробурен учебный куст скважин на грунтовые воды, откуда во время откачек, проводимых в рамках учебных гидрогеологических практик, также отбираются пробы воды.

Правый берег реки – коренной, вмещающие породы представлены красноцветными песками и песчаниками (D_{2st}), перекрытыми маломощными слоями четвертичных отложений разного генезиса. Левый берег террасирован, колодцами вскрываются воды пойменной террасы, сложенной современными аллювиальными отложениями, и надпойменных террас, представленных моренными бурыми супесями и суглинками (Q_{IIIgl}), 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 2015 год в летний период. Обычно опробовалось 20-40 водопунктов.

Результаты химического анализа грунтовых вод наиболее представительных точек опробования приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты химического анализа грунтовых вод

год	Содержание макрокомпонентов, мг/л								Общая минерализация мг/л
	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	
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	46,6	347
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	0,42	301
2013	204,4	28,4	8	41,5	18,9	15,2	<0,05	52,9	369
2015	170,8	45,7	14,6	41,4	24,3	28,5	0,1	34	359
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	13,12	44,73	38	14,8	56,8	3,06	242	437
2013	103,7	10,63	1	43	19,8	51,1	1	248	477
2015	29,3	10,28	27,98	23,6	7,56	22,32	<0,05	89	210
Пластовое высачивание, правый берег р.Оредеж									
2007	433,1	55,9	26	102	30,6	54,1	15,6	49	751
2009	469,7	23,8	21,6	64,4	41	75,9	0,65	15,5	712
2013	491,1	54,9	13	72	29,4	87,9	5,6	44,8	793
2015	951,6	53,5	16,9	92	26,4	260,5	25,2	41,1	1 442
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	2,69	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

Формулы Курлова (2015 г.):

Родник «Нитратный»:

$$M_{0,32} \frac{HCO_3^- 53 SO_4^{2-} 27 Cl^- 20}{Ca^{2+} 42 Mg^{2+} 30 (Na^+ + K^+) 28}$$

Колодец, Большой пр.81:

$$M_{0,36} \frac{HCO_3^- 57 Cl^- 26}{Ca^{2+} 42 (Na^+ + K^+) 34 Mg^{2+} 24}$$

Колодец, ул. Набережная 40:

$$M_{0,21} \frac{SO_4^{2-} 43 HCO_3^- 35 Cl^- 21}{Ca^{2+} 42 (Na^+ + K^+) 35 Mg^{2+} 23}$$

Пластовое высачивание, правый берег р.Оредеж:

$$M_{1,44} \frac{HCO_3^- 86}{(Na^+ + K^+) 63 Ca^{2+} 25}$$

Родник у спорткафедры:

$$M_{0,17} \frac{HCO_3^- 83}{Ca^{2+} 46 Mg^{2+} 34 (Na^+ + K^+) 20}$$

Химический состав грунтовых вод левого и правого берегов реки Оредеж сильно отличается, главным образом, вследствие антропогенных факторов.

Грунтовые воды на правом берегу р. Оредеж по химическому составу гидрокарбонатные магниево-кальциевые, пресные. Вследствие малой населенности территории грунтовые воды сохраняют в основном естественный состав. Но в точке «пластовое высачивание» наблюдаются признаки загрязнения воды: присутствует ион аммония, содержание нитратов на уровне ПДК, повышена общая минерализация. Также с годами наблюдается тенденция постепенного уменьшения содержания соединений азота.

Макрокомпонентный состав в точках наблюдения на левом берегу р. Оредеж резко отличается от того, который наблюдается на правом берегу. В роднике «Нитратном» и колодце на Большом пр., 81 фиксируется превышение ПДК по содержанию нитратов, воды по химическому составу гидрокарбонатные кальциево-натриевые. Минерализация заметно выше, чем в водопунктах правого берега. Тем не

менее загрязненные грунтовые воды местные жители используют для питья и бытовых нужд.

Для левого берега р. Оредеж, представленного четвертичными отложениями, общая минерализация варьирует от 200 до 480 мг/л. Вода мягкая, общая жесткость составляет около 3 мг-экв/л. По преобладающим компонентам воды сульфатно-гидрокарбонатные, гидрокарбонатно-сульфатные кальциевые.

Почти во всех пробах воды, отобранных из четвертичных отложений, наблюдается превышение ПДК по нитратам, основным источником которых являются органические удобрения, выгребные ямы и компостохранилища. Загрязнение легко проникает с поверхности в хорошо проницаемые разнородные породы.

Грунтовые воды на пойменных и надпойменных участках различаются по химическому составу. Содержание нитратов увеличивается от надпойменных участков в сторону реки, что, по-видимому, объясняется площадным загрязнением области распространения грунтовых вод и миграцией нитратов к области разгрузки, т.е. от населенной возвышенности к реке.

4.3. Наровский водоносный горизонт (D₂ пр)

Наровский горизонт сложен толщей мергелей, перемежающихся с прослоями доломитов, глин и реже песков и песчаников. Воды горизонта трещинно-пластовые, напорные. В региональном плане горизонт является относительно водоупорным, но на изучаемой территории вскрывается двумя самоизливающимися скважинами, расположенными на правом берегу р. Оредеж, на территории базы РГГМУ в речной пойме.

Данные химического анализа проб из наровского горизонта приведены в таблице 3.

Формулы Курлова (2015 г.):

Самоизливающаяся скважина на пляже базы РГГМУ:

$$M_{0,36} \frac{HCO_3^- 93}{Ca^{2+} 49 Mg^{2+} 35}$$

Самоизливающаяся скважина у ворот базы РГГМУ:

$$M_{0,4} \frac{HCO_3^- 95}{Ca^{2+} 63 Mg^{2+} 24}$$

Результаты химического анализа наровского водоносного горизонта

год	Содержание макрокомпонентов, мг/л									Общая минерализация, мг/л
	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	NH_4^+	NO_3^-	$\text{Fe}_{\text{общ}}$	
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
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

По преобладающим компонентам воды гидрокарбонатные кальциевые или кальциево-магниевые. Общая жесткость около 4,5 мг-экв/л. Воды пресные, наблюдается тенденция существенного превышения ПДК по содержанию общего железа. Повышенная железистость является отличительной особенностью наровского горизонта. Значения окислительно-восстановительного потенциала отрицательные, на скважинах наблюдается железистый налет, следовательно, содержание железа с выходом вод на поверхность даже несколько уменьшается. Содержание HCO_3^- значительно превышает содержание остальных макрокомпонентов, что объясняется составом водовмещающих пород. Воды наровского водоносного горизонта на данном участке не имеют практического значения из-за низкого дебита водопунктов и низкого качества воды.

4.4. Ордовикский водоносный комплекс (O₁₋₃)

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. 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 ордовикского водоносного комплекса

год	Содержание макрокомпонентов, мг/л							Общая минерализация, мг/л
	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	NO ₃ ⁻	
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
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

Формулы Курлова (2015 г.):

Эксплуатационная скважина поселка Батово:

$$M_{0,69} \frac{HCO_3^- 83}{Ca^{2+} 47 Mg^{2+} 37}$$

Скважина базы РГГМУ:

$$M_{0,51} \frac{HCO_3^- 94}{Ca^{2+} 49 Mg^{2+} 36}$$

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.

Таким образом, подземные воды ордовикского водоносного комплекса, которые используются для централизованного водоснабжения, сохраняют удовлетворительное качество. Вместе с тем, в деревне Даймище широко используется горизонт грунтовых вод, где качество воды повсеместно неудовлетворительное, главным образом, из-за высокого содержания нитратов, превышающего ПДК зачастую в 5-6 раз. Это обусловлено активным использованием органических отходов птицефабрики в качестве удобрения, а также несоблюдением жителями санитарных норм эксплуатации колодцев и родников.

Гидрохимический облик поверхностных вод определяется практически полностью составом вод истока, т.е. ордовикского водоносного комплекса, и в крайне незначительной степени – составом грунтовых вод, пополняющих речной сток. Поверхностные воды пока сохраняют удовлетворительное качество, но фиксируется начальная степень загрязнения воды, главным образом, нитратами, что также обусловлено активным антропогенным воздействием на водосборной площади реки.

4.5. Атмосферные осадки

Годовое количество осадков – около 700 мм. Максимум осадков приходится на лето и начало осени. В западных частях Ленинградской области с июня по сентябрь выпадает свыше 300 мм.

В распоряжении автора имеются результаты химического анализа атмосферных осадков за 2009, 2010 и 2015 г., проба 2015 г. была отобрана автором во время ливня 24.06.2015. По своему химическому составу все воды ультрапресные, с минерализацией 21 – 60 мг/л. По преобладающим компонентам воды хлоридно-сульфатные, хлоридно-гидрокарбонатные, кальциевые, натриево-кальциевые. Для сравнения в таблице 5 приведены результаты химического анализа атмосферных осадков в дер. Даймище за 2015 г. и данные по среднему химическому составу атмосферных осадков районов достаточного увлажнения европейской части России (Шварцев, 1998), к которому и относится изучаемая территория.

Результаты химического анализа атмосферных осадков

год	Содержание макрокомпонентов, мг/л								Общая минерализация, мг/л
	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	NH_4^+	NO_3^-	
2015	3,66	3,72	7	0,8	0,24	5,77	<0,05	0	21,19
Среднее по районам достаточн. увлажнения европ. части России	5,7	1,8	5,7	2	0,5	3,1	0,6	0,8	20,2

Таким образом, химический состав осадков дер. Даймище является типичным для данной природной зоны. В целом атмосферные осадки имеют гораздо меньшую минерализацию и содержание отдельных макрокомпонентов, чем подземные и поверхностные воды территории.

ГЛАВА 5. Закономерности многолетнего изменения химического состава природных вод района деревни Даймище

Ежегодное летнее гидрохимическое опробование подземных вод изучаемой территории проводится с 2007 года в рамках летних учебных практик по гидрогеологии СПбГУ и РГГМУ. Также единожды были отобраны пробы в зимний период в декабре 2015 года в самых представительных водопунктах для выявления сезонного изменения химического состава подземных вод.

В ходе написания данной работы автором было проанализировано около 40 проб из трех водоносных горизонтов и поверхностных вод, а также данные многолетних исследований.

5.1. Грунтовые воды. Водоносный горизонт старооскольских и четвертичных отложений (D_{2st} + Q)

Грунтовые воды вскрываются на изучаемой территории множеством частных и общественных колодцев, неглубоких скважин (левый берег р. Оредеж, деревня Даймище), кроме того каптированными родниками и пластовыми высачиваниями на обоих берегах. Пробурен учебный куст скважин на грунтовые воды на территории базы РГГМУ, откуда во время откачек, проводимых в рамках учебных гидрогеологических практик, также отбираются пробы воды.

Пробы грунтовых вод отбирались и анализировались ежегодно с 2007 по 2015 год в летний период. Обычно опробовалось 20-40 водопунктов. Зимой 2015 г. было отобрано и проанализировано 5 проб грунтовых вод.

Рассмотрим наиболее представительные водопункты, вскрывающие грунтовые воды, разделив их на группы по гипсометрическому положению и местонахождению – «водораздел», «пойма», правый берег реки Оредеж. Последняя группа выделяется по возрасту вмещающих пород (коренной берег, D_{2st}) и в связи с малой населенностью этой территории.

Группа 1. Колодцы второй надпойменной террасы р. Оредеж (Большой пр.) («водораздел»). В эту группу входят около 13 колодцев и 2 скважины, находящихся на наивысших абсолютных отметках исследуемого участка и опробованных с 2007 по 2015 г. Из них 3-4 опробовались ежегодно (Приложение 2; 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 6 представлены статистические данные по изменению общей минерализации, содержания хлоридов, сульфатов и нитратов в данных водопунктах за исследованный период.

Группа 1. «Водораздел»

	Минерализация	СГ	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻
	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, общая минерализация изменялась от 110 до 837 мг/л, со средним значением 326 мг/л, каких-либо многолетних закономерностей изменения минерализации не выявлено (рис. 5). Тренд не является статистически значимым – значение коэффициента регрессии $r=0,33$ (связь умеренная).

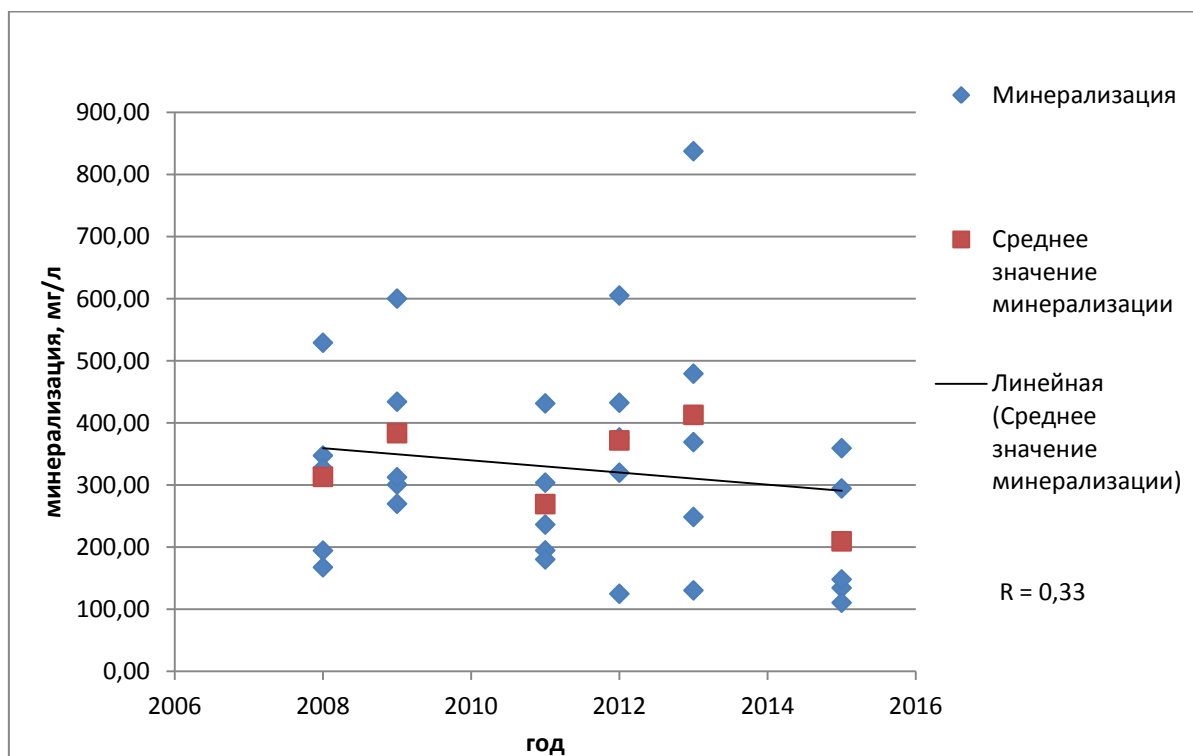


Рис.5. График изменения общей минерализации в колодцах второй надпойменной террасы за 2007 – 2015 гг.

Содержание хлоридов составляет от 7 до 70 мг/л. Из таблицы 6 видно, что среднее значение 21,53 мг/л, медиана равна 16,31 мг/л, а максимально часто (мода) в анализах появляется значение 28,36 мг/л. Следовательно, содержание хлоридов в большинстве точек опробования невелико и существенно меньше максимального, но в среднем выше, чем фоновое для данной климатической зоны..

Содержание сульфатов варьирует от 2 до 128 мг/л. Среднее значение (33,32 мг/л) существенно выше медианы (19,55 мг/л), а максимально часто (мода) в анализах появляется значение 17 мг/л (табл. 6). Таким образом, воды в целом характеризуются небольшим содержанием сульфатов, а максимальное значение является аномальным. Медианное значение сопоставимо с фоновым в целом по климатической зоне.

В большинстве проб воды, отобранных из четвертичных отложений, наблюдается превышение ПДК по нитратам (45 мг/л), содержание которых в 2007-2015 гг. варьировало от 0,42 до 479 мг/л (рис. 6), со средним значением 94 мг/л, в то время как медиана составила 44,75 мг/л (табл. 6). Скорее всего, сильное нитратное загрязнение является точечным, а фоновое содержание нитратов в 50 % случаев не превышает ПДК, а в остальных случаях превышение довольно существенно (третий квартиль – 142 мг/л). Тенденции увеличения или уменьшения содержания нитратов с годами в целом не наблюдается, что подтверждается отсутствием значимой регрессионной зависимости. В целом содержание нитратов гораздо выше фонового и находится на уровне или выше ПДК, т.е. наблюдается сплошное нитратное загрязнение грунтовых вод.

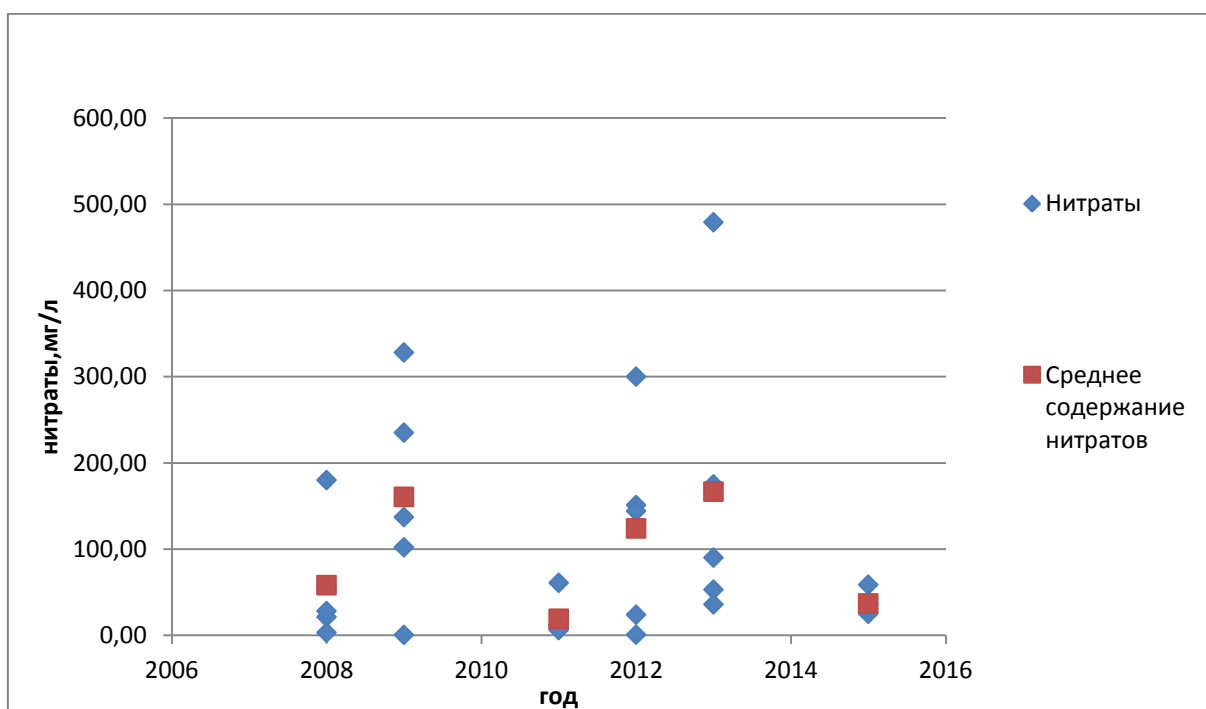


Рис.6. Содержание нитратов в колодцах второй надпойменной террасы, 2007 – 2015 гг.

Вода мягкая, общая жесткость составляет около 3 мг-экв/л. По преобладающим компонентам воды сульфатно-гидрокарбонатные, гидрокарбонатно-сульфатные кальциевые.

Группа 2. Родник "Нитратный", пойменные колодцы, колодцы первой надпойменной террасы (ул. Набережная) («пойма»). В эту группу входят пойменные колодцы и один родник на левом берегу р. Оредеж (Приложение 2, 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 7 представлены статистические данные по изменению общей минерализации, общей жесткости, содержания хлоридов, сульфатов и нитратов в данных водопунктах за исследованный период.

Таблица 7

Группа 2. «Пойма»				
	Минерализация	СГ	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻
	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 варьирует здесь от 182 до 570 мг/л (таблица 7). Обнаружено статистически значимое уменьшение общей минерализации с течением времени ($r = -0,75$) (тесная связь) (рис. 7). Минерализация в большинстве точек гораздо выше фоновой для данной климатической зоны.

Содержание хлоридов составляет от 8 до 42,5 мг/л. (рис.8) Среднее и медианное содержание хлоридов выше фонового примерно в 1,5 раза, но даже максимальное значение гораздо ниже ПДК.

Содержание сульфатов варьирует от 1 до 92 мг/л. Из таблицы 7 видно, что среднее значение 35 мг/л, а медиана равна 27,94 мг/л, а максимально часто (мода) в анализах появляется значение 27,9 мг/л. Таким образом, в целом содержание сульфатов в водах пойменной и первой надпойменной террас также невелико. но в 2 раза выше

фонового для данной климатической зоны. Вместе с тем, максимальное значение гораздо ниже ПДК.

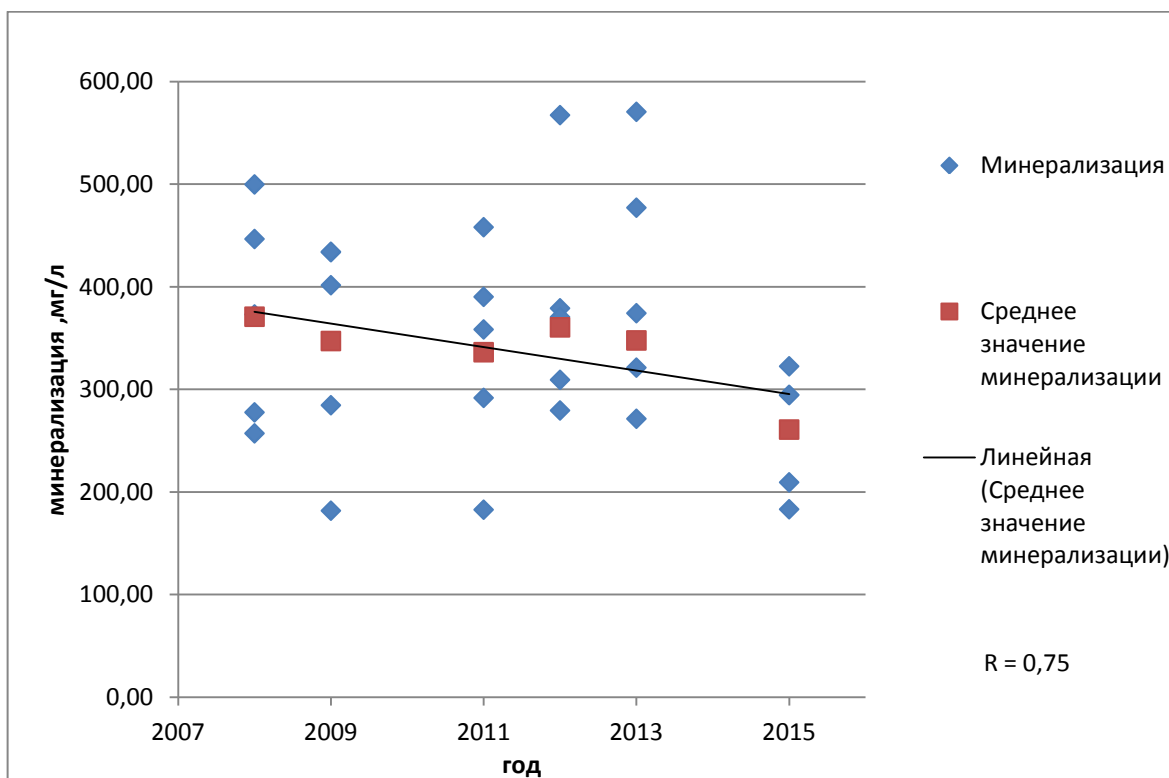


Рис.7. График изменения минерализации в водопунктах «поймы» за 2007 – 2015 гг.

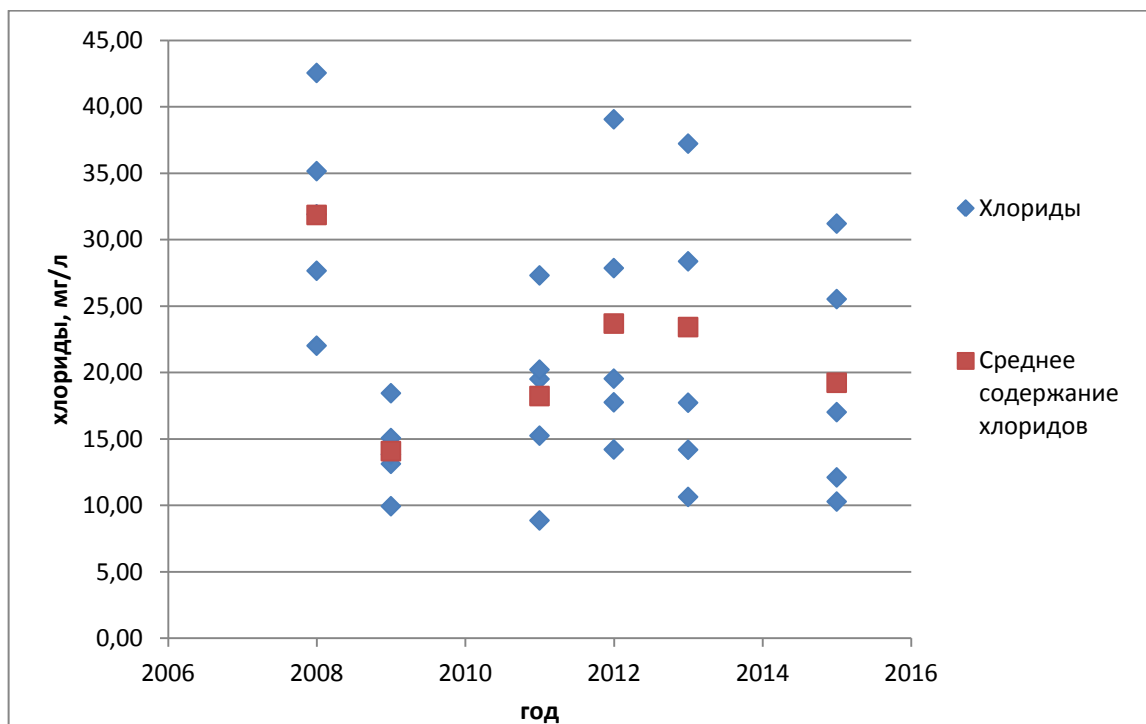


Рис.8. График изменения содержания хлоридов в водопунктах «поймы» за 2007 -2015 гг.

Вода мягкая, общая жесткость составляет около 4 мг-экв/л. По преобладающим компонентам воды гидрокарбонатные кальциевые.

Почти во всех пробах воды, отобранных из четвертичных отложений, наблюдается превышение ПДК по нитратам (45 мг/л), содержание которых в 2007-2015 гг. варьировало от 19 до 313 мг/л (рис. 9). Учитывая, что минимальное содержание нитратов составляет 19 мг/л (табл. 7), можно заключить, что все грунтовые воды характеризуются начальной степенью нитратного загрязнения, причем в большинстве проб содержание нитратов существенно выше ПДК (первый квартиль – 71,9 мг/л). Нитратное загрязнение этой группы водопунктов существенно выше, чем на водоразделе. Скорее всего, это объясняется множеством точечных (выгребные ямы, компостохранилища) и сплошным распространением площадных источников загрязнения (азотные сельскохозяйственные удобрения). Загрязнение легко проникает с поверхности в хорошо проницаемые разнородные породы, и содержание нитратов увеличивается по направлению движения фильтрационного потока, так как осаждение нитратов в составе каких-либо труднорастворимых соединений в естественных условиях невозможно (Крайнов, Рыженко, 2004). По результатам факторного анализа было выявлено, что год опробования влияет на содержание нитратов, но его статистически значимого возрастания или убывания с годами не найдено. По-видимому, колебания содержания нитратов обусловлены периодичностью внесения органических удобрений (отходов птицефабрики) на частных сельскохозяйственных угодьях.

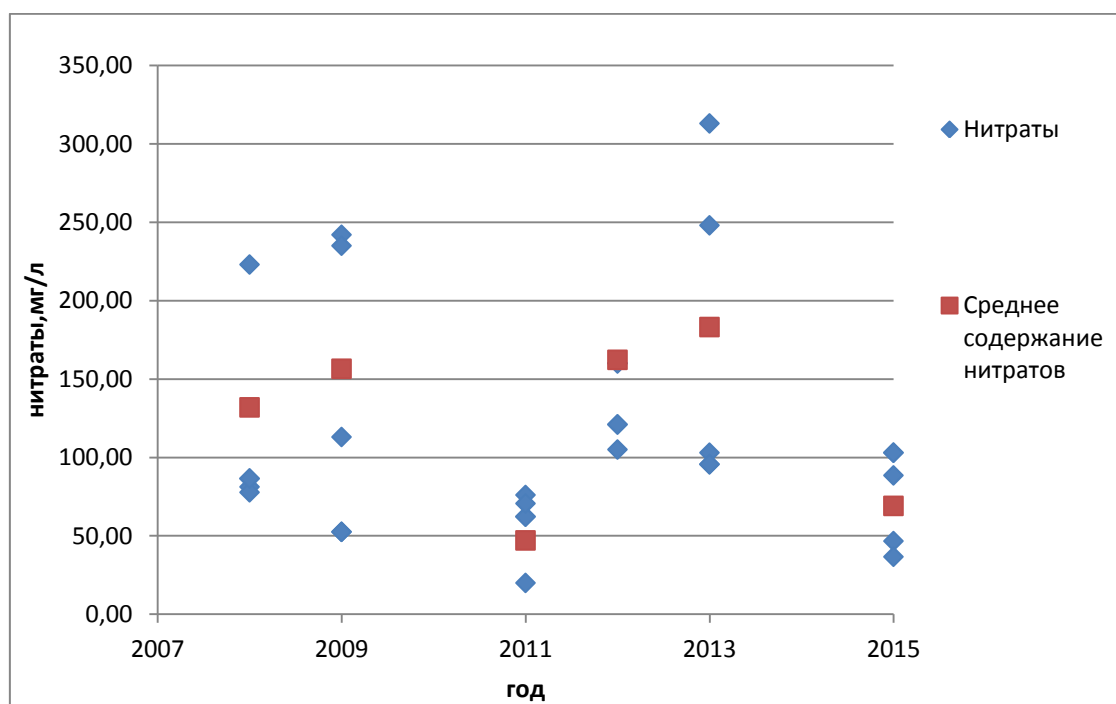


Рис.9. График содержания нитратов в водопунктах «поймы» за 2007 – 2015 гг.

Родник «Нитратный». Представляет собой каптированный родник, названный студентами СПбГУ Нитратным, который расположен в деревне Даймище, на левом берегу реки Оредеж, в 1 метре от уреза воды (Приложение 2, р.17). Родник популярен среди жителей деревни и окрестностей, которые приходят и приезжают сюда за питьевой водой. В таблице 8 представлены статистические данные по изменению общей минерализации, общей жесткости, содержания хлоридов, сульфатов и нитратов в роднике за исследованный период.

Таблица 8

Родник «Нитратный»

	Минерализация	Общая жесткость	СГ	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻
	мг/л	мг-экв/л	мг/л	мг/л	мг/л
Максимум	522,88	5,25	48,81	67,17	197
Минимум	322,61	1,5	18,43	17	46,6
Среднее значение	402,53	3,56	34,31	31,94	105,53
Медиана	379,13	3,6	35,81	30	103
Мода	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д
ПДК	1000	7	350	500	45
Среднее значение для климатической зоны (Шварцев, 1998)	231	2,1	13,3	13	5,32

Общая минерализация за период 2007 – 2015 гг. менялась в пределах от 322 до 523 мг/л (табл. 8). Среднее значение 402,53 мг/л, медиана равна 379,13 мг/л. Обнаружено статистически значимое уменьшение общей минерализации с течением времени ($r = -0,7$) (тесная связь) (рис. 10).

Общая жесткость варьирует от 1,5 до 5,25 мг-экв/л. Содержание хлоридов от 18 до 49 мг/л. Содержание сульфатов варьирует от 17 до 67 мг/л (табл. 8). Средние и медианные показатели превышают фоновые значения примерно в 2 раза, но гораздо ниже ПДК.

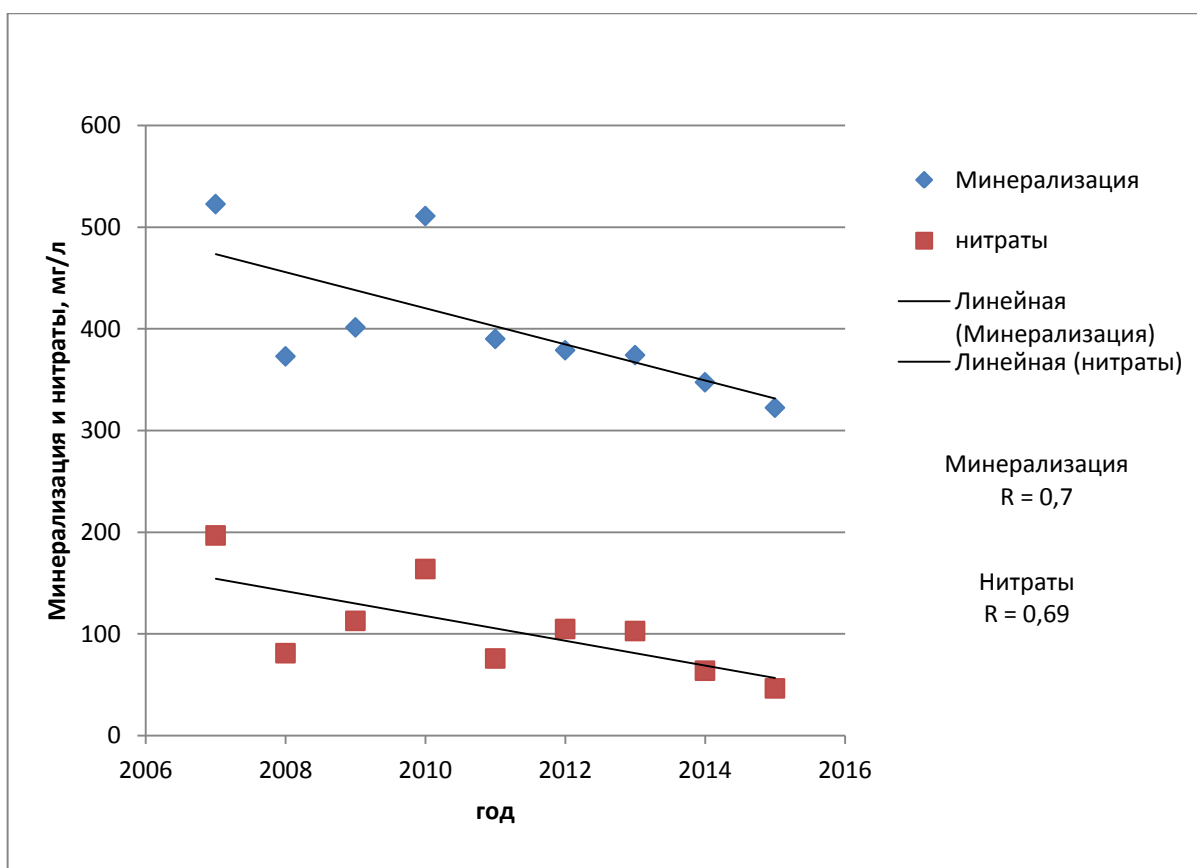


Рис. 10. Хронологический график изменения общей минерализации и содержания нитратов в роднике «Нитратный» за 2007 – 2015 гг.

Во всех пробах воды, отобранных из родника, наблюдается превышение ПДК по нитратам (45 мг/л), содержание которых в 2007-2015 гг. варьирует от 46,6 до 197 мг/л. Фоновые значения превышены в 9 - 40 раз. Обнаружено статистически значимое уменьшение содержания нитратов с течением времени ($r = -0,7$) (тесная связь) (рис. 10).

По-видимому, основным источником нитратов в роднике является расположенная гипсометрически выше заброшенная животноводческая ферма, это предположение подтверждается и трендом, указывающим на ежегодное уменьшение содержания нитратов. Общая минерализация убывает с течением времени, вероятно, из-за уменьшения содержания нитратов, так как наблюдается тесная корреляционная связь ($r = 0,96$) между этими двумя параметрами (рис 11)

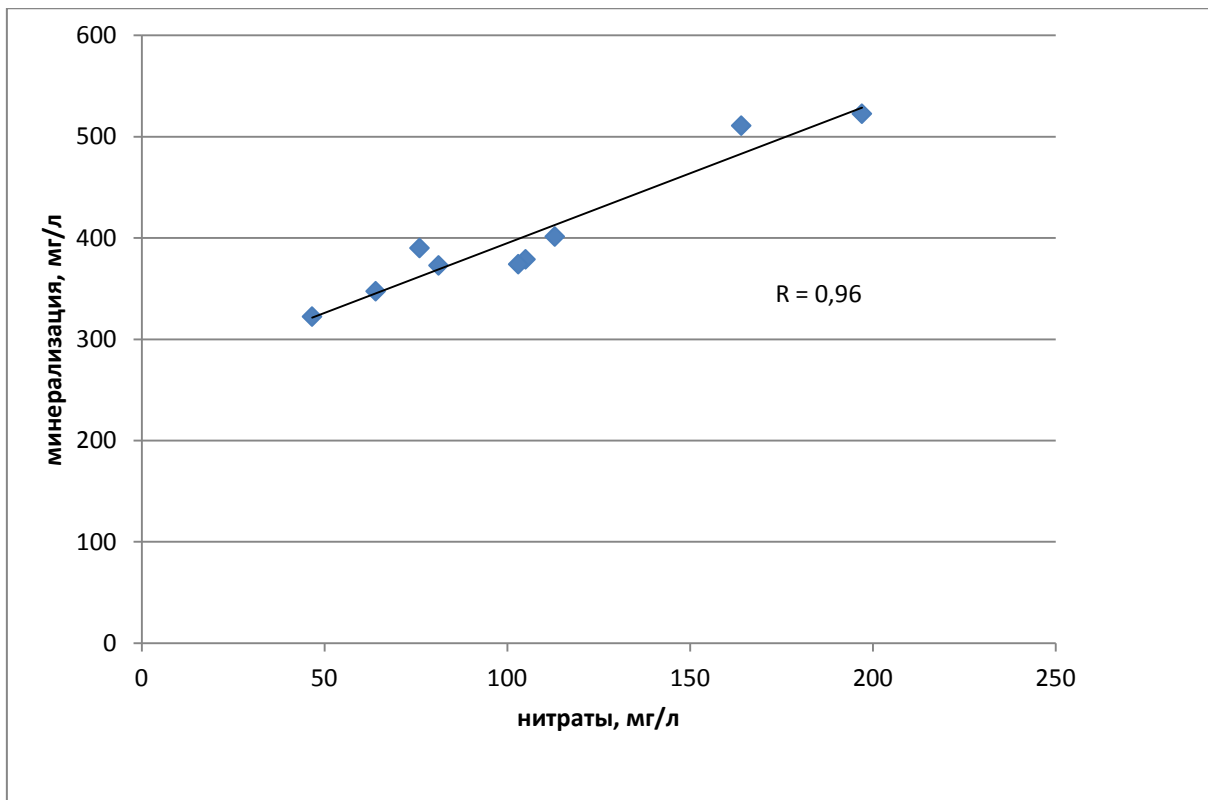


Рис.11. График зависимости общей минерализации от содержания нитратов в роднике «Нитратный» за 2007 – 2015 гг.

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.26) характеризуется более низкой минерализацией, чем воды четвертичных отложений, которая в основном варьирует от 97 до 260 мг/л. Точка «пластовое высачивание» существенно отличается по минерализации, макрокомпонентному составу и степени загрязнения, поэтому в статистическую оценку не вошла и рассмотрена отдельно. Для остальных точек среднее значение минерализации 172,7 мг/л, а медиана равна 176,27 мг/л (табл. 9), что ниже фоновых значений. Есть слабая тенденция к убыванию минерализации во времени ($r=0,33$ (связь умеренная)) (рис.12).

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

Содержание хлоридов варьирует от 4,25 до 22 мг/л (табл 9). Среднее значение 8,25 мг/л, а медиана и мода равны 7,09 мг/л, что тоже ниже фоновых показателей. Таким образом, в целом содержание хлоридов в подземных водах правого берега р. Оредеж невелико.

Группа 3. Правый берег.

	Минерализация	СГ	NO ₃ ⁻
	мг/л	мг/л	мг/л
Максимум	259,82	21,98	2,69
Минимум	96,7	4,25	0,28
Среднее значение	172,7	8,25	1,35
Медиана	176,27	7,09	1,84
Мода	Н/Д	7,09	Н/Д
ПДК	1000	350	45
Среднее значение для климатической зоны (Шварцев, 1998)	231	13,3	5,32

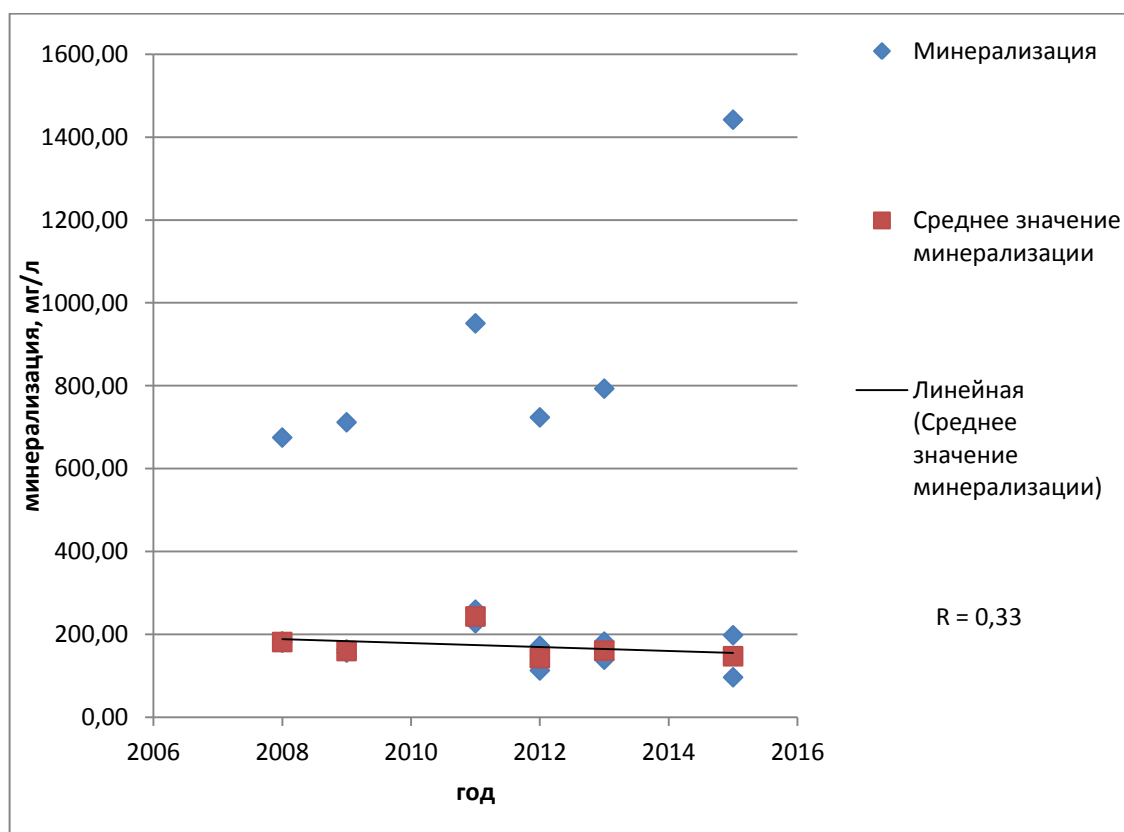


Рис. 12 График изменения общей минерализации на правом берегу р.Оредеж за 2007 – 2015 гг.

Макрокомпонентный состав схож с водами четвертичных отложений, воды гидрокарбонатные кальциевые.

На большей части территории содержание загрязняющих веществ минимальное. Например, содержание нитратов варьирует от 0,28 до 2,7 мг/л, что ниже фоновых значений.

На данной территории аномальной точкой является пластовое высачивание, о котором будет рассказано подробнее.

Пластовое высачивание. На правом берегу правого притока р. Оредеж, наблюдается ряд выходов грунтовых вод в виде пластовых высачиваний. Исследуемое высачивание располагается в лесу в 300 м от дороги д. Даймище – п. Батово (Приложение 2; пл.23).

Общая минерализация за период 2007 – 2015 гг. менялась в пределах от 675 до 1440 мг/л. Среднее значение равно 831 мг/л, а медиана равна 734,46 мг/л (табл. 10). Максимальная минерализация зафиксирована летом 2015 г. и обусловила существенное превышение среднего над медианой и наличие статистически значимого увеличения минерализации с годами ($r=0,59$; связь средняя) (рис.13).

Таблица 10

Пластовое высачивание

	Минерализация	Общая жесткость	СГ	NH₄⁺	NO₃⁻
	мг/л	мг-экв/л	мг/л	мг/л	мг/л
Максимум	1441,96	7,65	55,91	25,2	306
Минимум	675,08	5,05	23,75	0,1	11,2
Среднее значение	831,20	5,98	45,45	11,02	87,4
Медиана	734,46	5,84	51,76	5,6	44,8
Мода	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д
ПДК	1000	7	350	2,5	45
Среднее значение для климатической зоны (Шварцев, 1998)	231	2,1	13,3	0,35	5,32

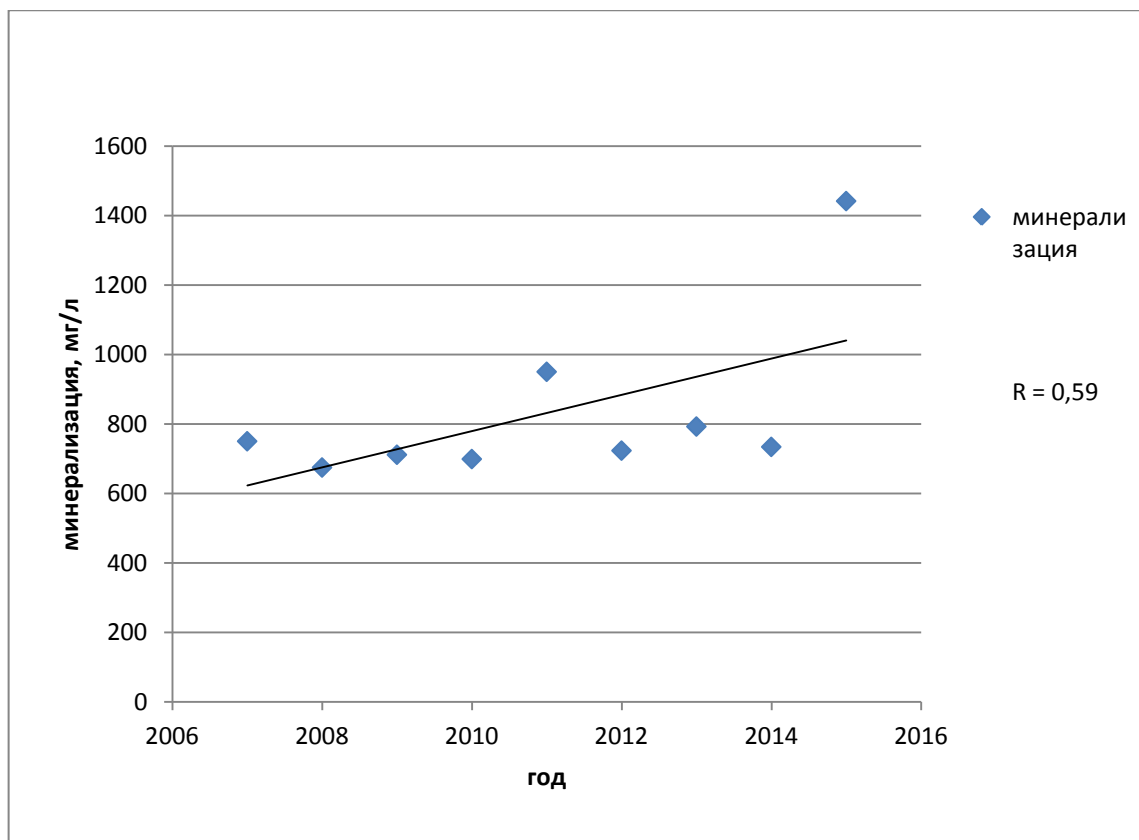


Рис.13. График изменения общей минерализации в пластовом высачивании за 2007 – 2015 гг.

Содержание хлоридов от 23 до 56 мг/л. Общая жесткость варьирует от 5 до 7,6 мг-экв/л, среднее 5,9 мг-экв/л (табл.10).

Содержание иона аммония варьирует от 0,1 до 25,2 мг/л. Среднее значение 11,02 мг/л, а медиана равна 5,6 мг/л (табл. 10), что более чем в 2 раза превышает ПДК (2,5 мг/л). Следовательно, загрязнение ионом аммония можно считать устойчивым (рис.14).

Содержание нитратов от 11,2 до 306 мг/л. Среднее значение 87,4 мг/л, а медиана равна 44,8 мг/л (табл. 10). Таким образом, в 50% проб наблюдается превышение ПДК и во всех пробах содержание выше фонового.

Загрязнение ионом аммония - это недавнее загрязнение, обусловленное, по всей видимости, близостью птицефабрики и сельскохозяйственных угодий, находящихся выше по потоку грунтовых вод. Токсичность аммония гораздо выше, чем нитратов, поэтому смена нитратного загрязнения на аммонийное приводит к существенному ухудшению экологического состояния подземных вод. В связи с увеличивающимся загрязнением подземных вод и снижением окислительно-восстановительного потенциала в настоящее время происходит повсеместное увеличение концентрации

аммония в подземных водах верхних водоносных горизонтов, соответственно, резко ухудшается их экологическое состояние. (Крайнов, Рыженко и др.,2004)

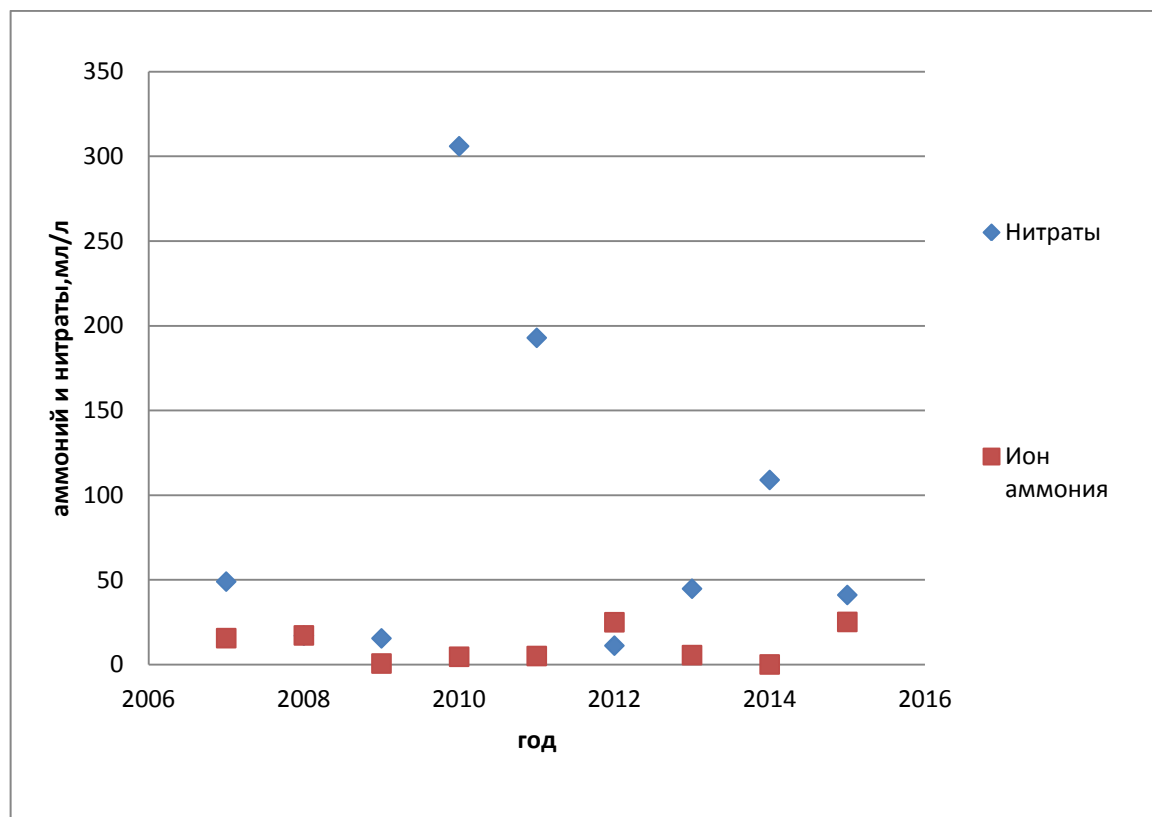


Рис.14. График изменения содержания нитратов и иона аммония в пластовом высачивании за 2007 -2015 гг.

Для более детального изучения изменения химического состава грунтовых вод был проведен двухфакторный дисперсионный анализ с повторениями и без повторений. Устанавливались различия по общей минерализации, содержанию нитратов и хлоридов между выделенными группами и по году опробования. За первый фактор принималось гипсометрическое положение точек («пойма» - «водораздел»). Второй фактор – год опробования.

Результаты показали, что по общей минерализации и содержанию хлоридов нет никаких различий ни между группами, выделенными по гипсометрическому положению точек, ни по году опробования. (Приложение 3,4).

Результаты факторного анализа содержания нитратов показали отсутствие различия этого показателя в зависимости от гипсометрического положения точек, тогда как год опробования является значимым фактором (расчетное значение критерия Фишера больше критического $F_p > F_{кр}$ ($4,29 > 2,41$)). (Приложение 3).

При сравнении содержания нитратов на правом и левом берегах было выявлено, что между ними существует значимое различие. Расчетное значение критерия Фишера больше критического $F_p > F_{кр}$ ($5,885 > 3,26$) по столбцам. (Приложение 4). Действительно, грунтовые воды населенного левого берега в основном характеризуются содержанием нитратов не ниже уровня ПДК, как было показано выше, тогда как грунтовые воды правого берега практически не загрязнены, за исключением точки «пластовое высачивание», нитратное загрязнение в которой все равно в целом не повлияло на результаты факторного анализа.

Выводы:

Грунтовые воды на пойменных и надпойменных участках левого берега реки Ордеж 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. Тем не менее факторный анализ не выявил существенных различий в содержании нитратов в целом по гипсометрическому положению точек.

Качество грунтовых вод на территории деревни многие годы остается невысоким, местные жители активно используют в качестве удобрения органические отходы птицефабрики. Факторный анализ показал зависимость содержания нитратов от года опробования по всем группам точек, хотя тенденции к его увеличению или уменьшению с годами выявлено не было. По-видимому, содержание нитратов в грунтовых водах коррелирует с периодичностью удобрения территории отходами птицефабрики.

5.2. Наровский водоносный горизонт (D₂ пр)

На изучаемой территории вскрывается двумя самоизливающимися скважинами, расположенными на правом берегу р. Ордеж, на территории базы РГГМУ в речной пойме (Приложение 2; с.26, с.27). Воды горизонта трещинно-пластовые, напорные. В региональном плане горизонт является относительно водоупорным.

Общая минерализация за период 2007 – 2015 гг. менялась незначительно, в пределах от 341 до 540 мг/л (табл.11). Наблюдается небольшое снижение минерализации, не являющееся однако статистически значимым ($r=0,5$) (средняя связь) (рис.15).

Содержание хлоридов также стабильно (от 4 до 16 мг/л). Содержание сульфатов варьирует от 0,5 до 50,3 мг/л (рис 16). Среднее содержание сульфатов 10,43 мг/л,

медиана 5,46 мг/л (табл. 11). Таким образом, воды в целом характеризуются невысоким содержанием сульфатов.

Таблица 11

Наровский водоносный горизонт

	Минерализация	СГ	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Fe _{общ}
	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л
Максимум	539,82	15,98	50,3	3,09	1
Минимум	341,27	4,25	0,5	0	0,1
Среднее значение	399,74	8,16	10,43	0,94	0,66
Медиана	390,52	7,46	5,46	0,76	0,71
Мода	Н/Д	12,07	2	0	Н/Д
ПДК	1000	350	500	45	0,3

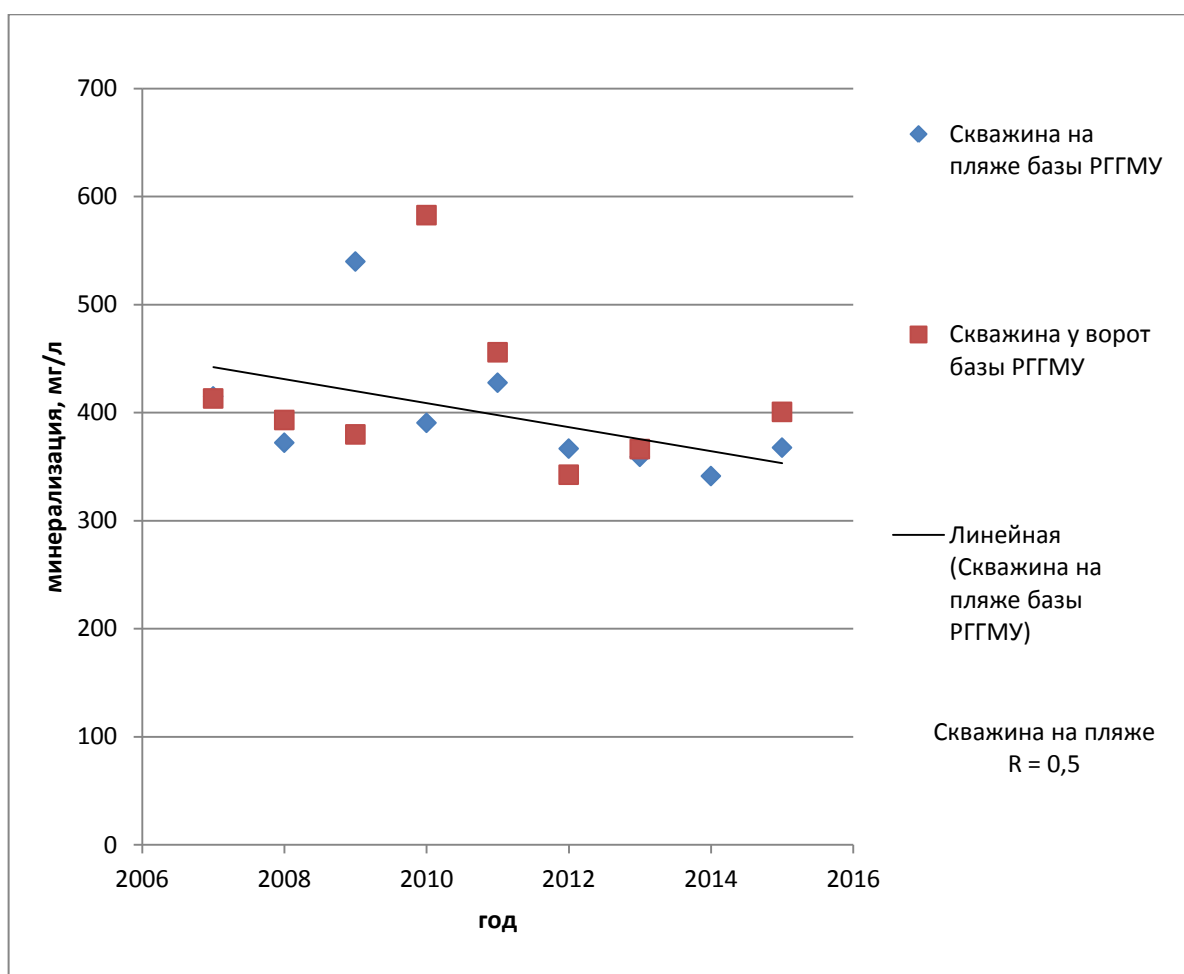


Рис.15. График изменения общей минерализации за 2007 – 2015 гг.

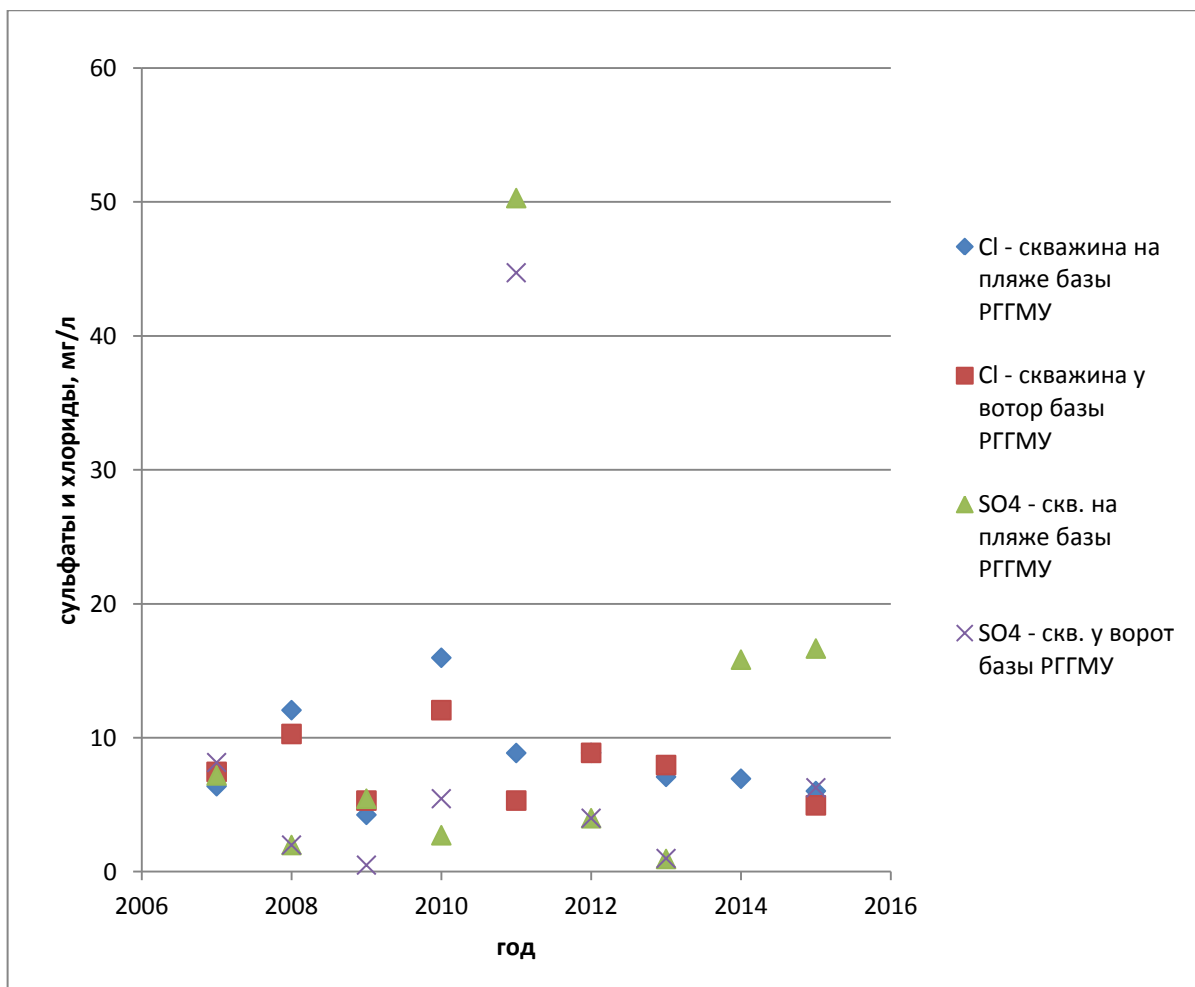


Рис. 16. График изменения содержания хлоридов и сульфатов за 2007 -2015 гг.

Нитратного загрязнения не наблюдается. Часто наблюдается превышение ПДК (0,3 мг/л) по содержанию железа (анализ проводился не каждый год, измеренные концентрации - от 0,1 до 1 мг/л), обусловленное характером вмещающих пород (рис. 17). Среднее содержание железа составляет 0,66 мг/л, а медиана равна 0,71 мг/л. Это более чем в 2 раза превышает ПДК. Обнаружена статистически значимая регрессионная зависимость содержания железа от года опробования в одной из скважин ($r = -0,9$) (связь тесная) (рис. 17). По-видимому, это объясняется техническим состоянием скважины, где постоянно происходит самоизлив в углубление, образованное струей воды, и локальная смена восстановительной обстановки на окислительную с образованием железистого налета на стенках и вокруг скважины.

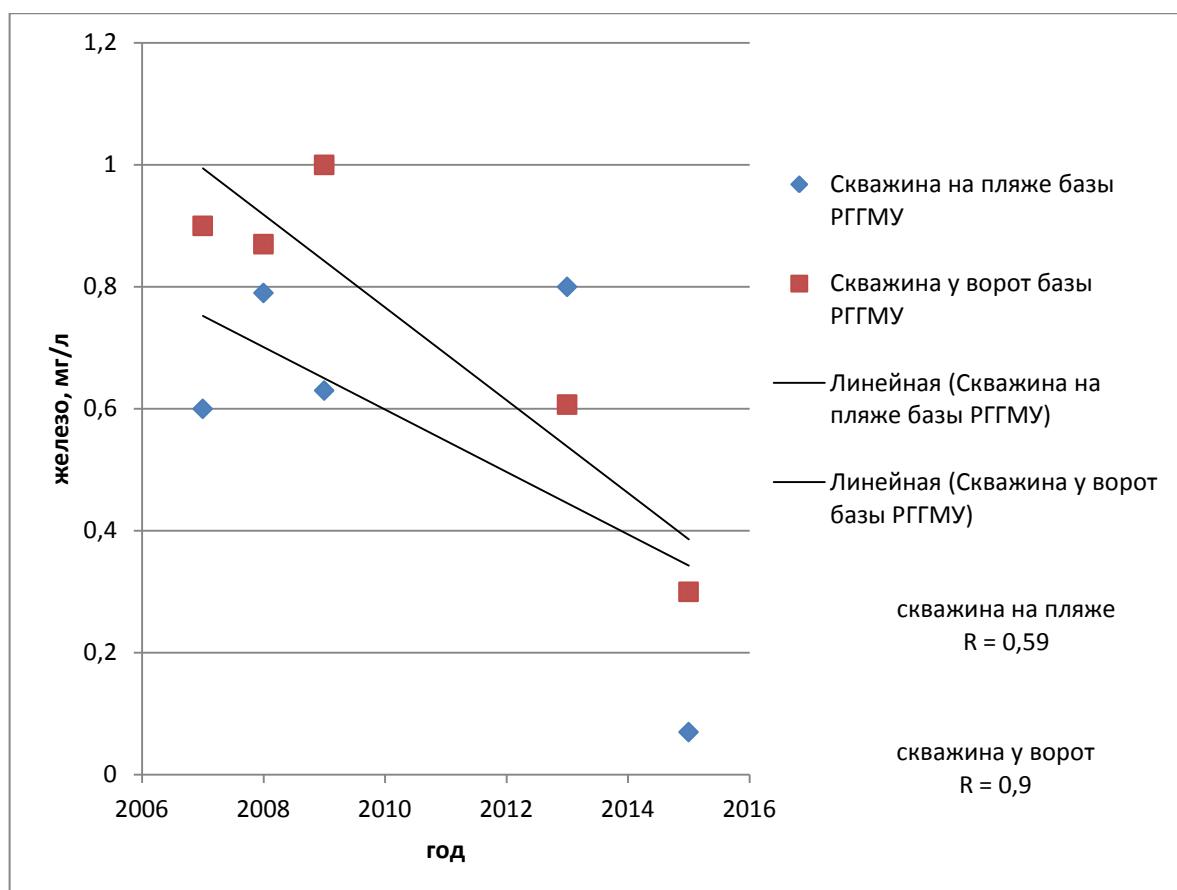


Рис.17. График изменения содержания общего железа за 2007 – 2015 гг.

По преобладающим компонентам воды гидрокарбонатные кальциевые или кальциево-магниевые.

Горизонт характеризуется восстановительной обстановкой, Eh от -70 до -256 мВ. На оголовках скважин наблюдается железистый хлопьевидный налет, вблизи чувствуется запах сероводорода. Это дает основания полагать, что в водоносном горизонте наблюдаются еще более высокие содержания железа, чем в отобранных пробах.

5.3 Ордовикский водоносный комплекс (O₁₋₃)

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 (Приложение 2; с.28, с.29). Водовмещающие породы сложены известняками и доломитами с карстово-трещинным типом порового пространства.

В таблице 12 представлены статистические данные по изменению общей минерализации, общей жесткости, содержания хлоридов, нитратов в данных водопунктах за исследованный период.

Таблица 12

Ордовикский водоносный комплекс

	Минерализация	Общая жесткость	СГ	NO ₃ ⁻
	мг/л	мг-экв/л	мг/л	мг/л
Максимум	697,33	7,7	26,58	20,4
Минимум	395,39	1,7	3,55	0
Среднее значение	507,91	5,1	11,53	2,65
Медиана	511,38	5,5	10,65	0,8
Мода	Н/Д	5,6	10,65	0
ПДК	1000	7	350	45

Общая минерализация за период 2007 – 2015 гг. менялась в пределах от 395 до 697 мг/л (рис 18). Содержание хлоридов составило от 3,5 до 27 мг/л. Нитратного загрязнения в основном не наблюдалось, однако в 2015 г. в водопроводе пос. Батово было зафиксировано содержание нитратов 20,4 мг/л (рис.19) (табл.4). По преобладающим компонентам воды горизонта гидрокарбонатные магниевые-кальциевые.

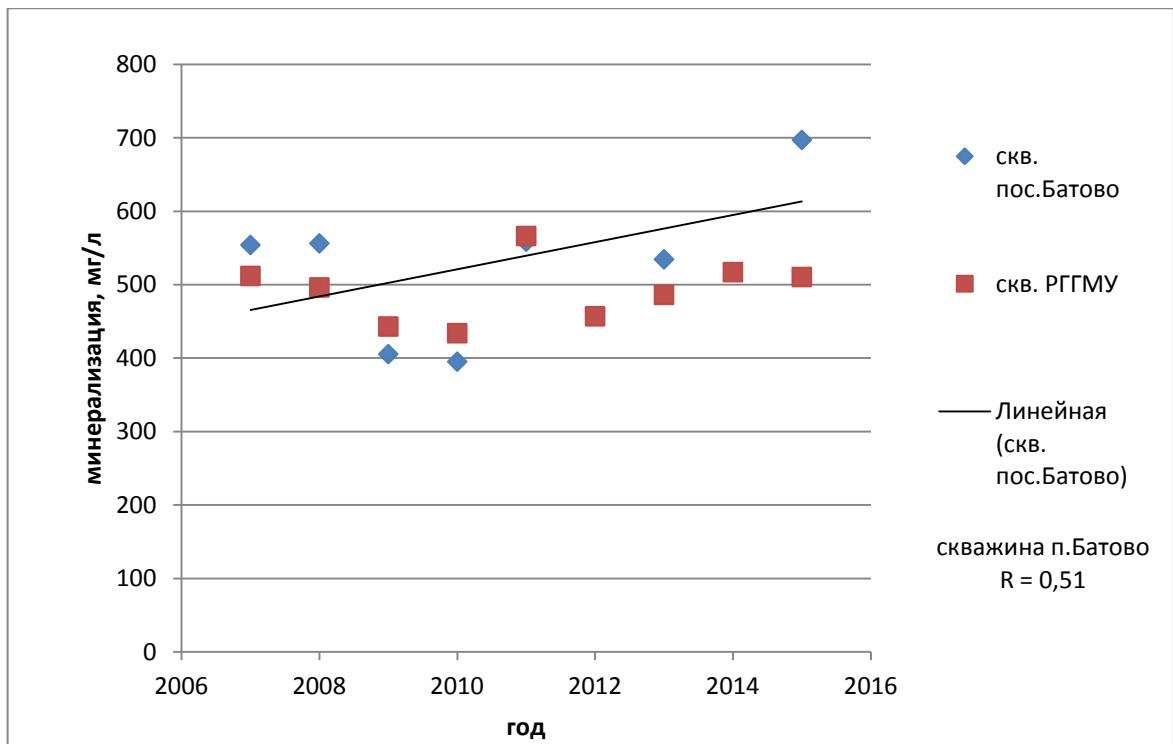


Рис.18. График изменения общей минерализации в ордовикском ВК за 2007 – 2015 гг.

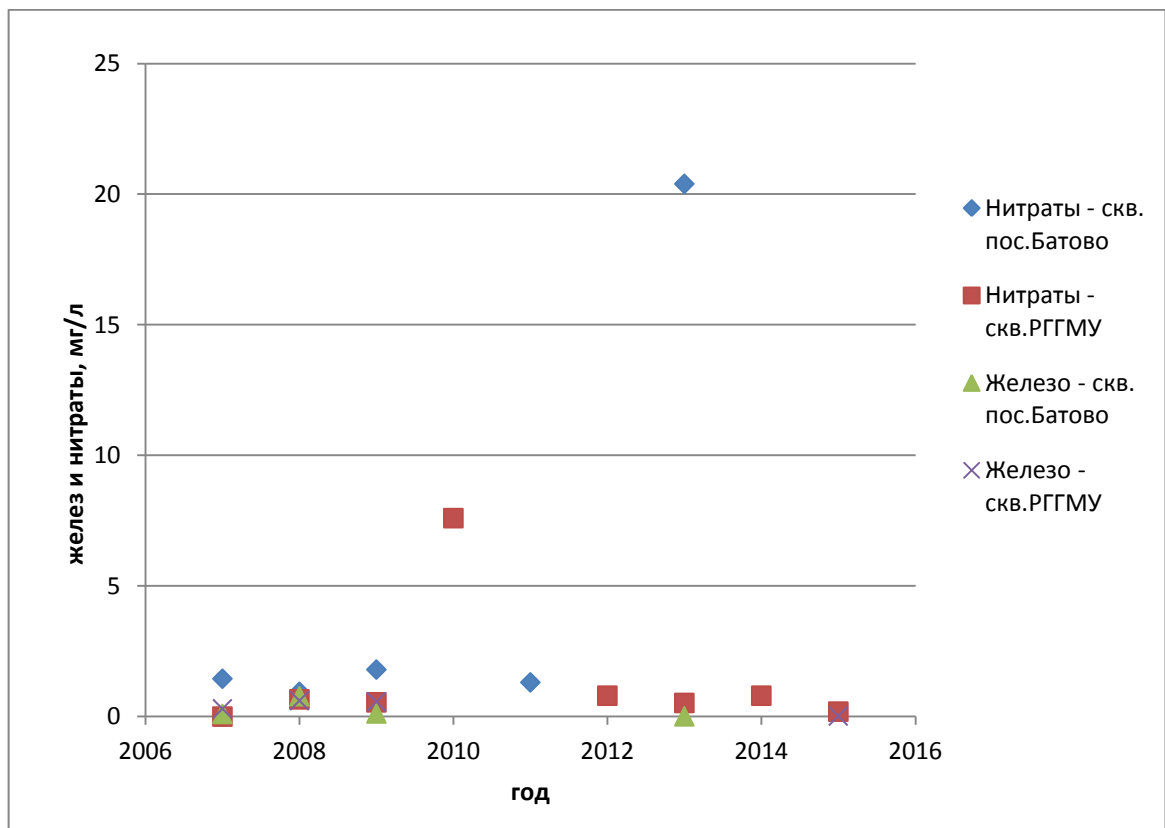


Рис.19. График изменения содержания нитратов и железа за 2007 – 2015 гг.

Общая жесткость варьирует в широких пределах (от 1,7 до 7,7 мг-экв/л), при этом какой-либо закономерности в изменении жесткости в скважине базы РГГМУ не наблюдается, а жесткость в скважине пос. Батово возрастает, о чем свидетельствует наличие тренда с значимым коэффициентом регрессии ($r=0,93$) (связь тесная) (рис 20).

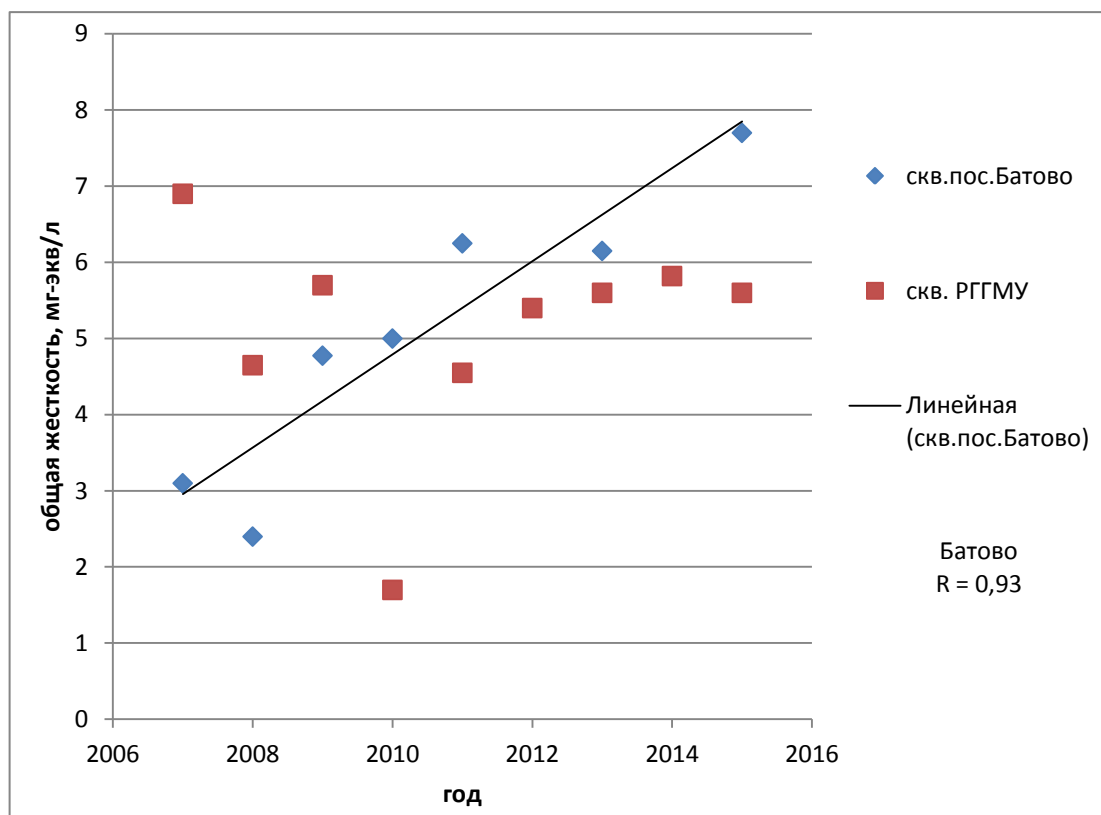


Рис.20. График изменения общей жесткости в ордовикском ВК за 2007 – 2015 гг.

Было сделано предположение, что величина общей минерализации также будет с годами увеличиваться, но статистически значимой корреляционной связи между минерализацией и общей жесткостью получено не было (рис. 21).

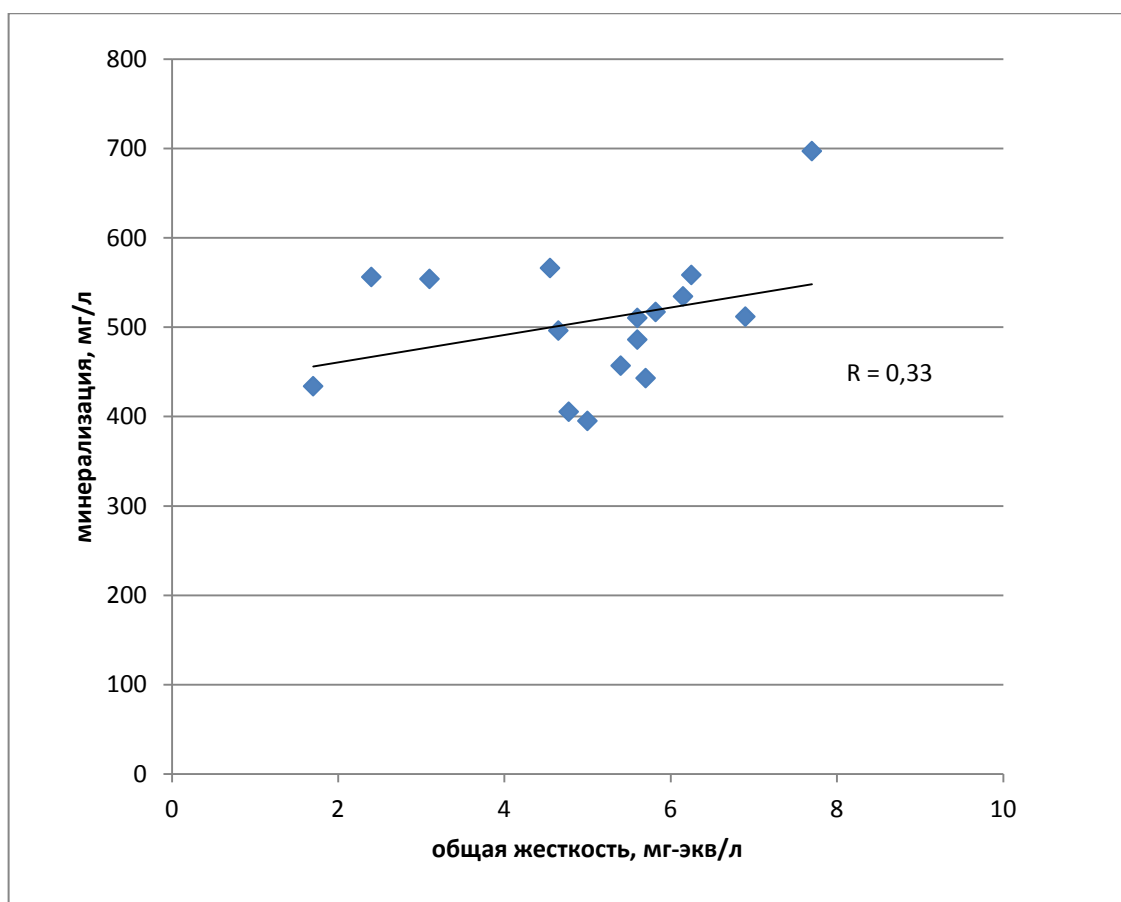


Рис.21. График зависимости общей минерализации от общей жесткости за 2007 – 2015 гг.

Для более детального изучения изменения химического состава для ордовикского водоносного горизонта, также как и для грунтовых вод был проведен двухфакторный дисперсионный анализ без повторений. Устанавливались различия по общей минерализации, содержанию нитратов и хлоридов между выделенными группами и по году опробования. За первый фактор принималось расположение точек опробования (скважина базы РГГМУ - скважина п.Батово). Второй фактор – год опробования.

Результаты показали, что по общей минерализации и содержанию нитратов нет никаких различий ни между группами, выделенными по расположению точек, ни по году опробования. (Приложение 5).

Результаты факторного анализа содержания хлоридов показали отсутствие различия этого показателя в зависимости от года опробования, тогда как расположение точек является значимым фактором (расчетное значение критерия Фишера больше критического $F_p > F_{кр}$ ($9,51 > 5,98$)). (Приложение 5). Это может быть связано с поступлением загрязнения через обсадные трубы скважины в пос. Батово.

Выводы:

В целом воды ордовикского водоносного комплекса характеризуются удовлетворительным качеством, стабильным во времени, и пригодны на изучаемой территории для хозяйственно-питьевого водоснабжения.

При эксплуатации скважины в пос. Батово необходимо контролировать содержание хлоридов, нитратов и других потенциальных загрязнителей, так как она находится на населенной территории вблизи сельскохозяйственных угодий и птицефабрики, которые являются потенциальными источниками загрязнения. Необходима организация зоны санитарной охраны.

5.4 Поверхностные воды

Вследствие того, что район находится в верхнем течении р. Оредеж, химический состав речной воды определяется главным образом составом вод истока, и в меньшей степени – составом грунтовых вод, пополняющих речной сток. Речные воды имеют гораздо более высокую минерализацию и жесткость по сравнению с грунтовыми водами, и состав воды в районе дер. Даймище (Приложение 2; пв.30, пв.31). имеет больше сходства с составом воды истока (дер. Донцо), чем с грунтовыми водами.

По преобладающим компонентам воды в реке Оредеж в районе дер. Даймище гидрокарбонатные кальциево-магниевые. Воды пресные, пригодные к использованию в питьевых и бытовых целях. Содержание всех определенных компонентов не превышает ПДК. В таблице 13 представлены статистические данные по изменению общей минерализации, общей жесткости, содержания хлоридов, нитратов в реки.

Таблица 13

Поверхностные воды реки Оредеж

	Минерализация	Общая жесткость	Cl⁻	NO₃⁻
	мг/л	мг-экв/л	мг/л	мг/л
Максимум	534,92	7	20,95	7
Минимум	451,97	4,45	7,8	4,45
Среднее значение	504,39	5,64	16,31	5,64
Медиана	507,99	5,53	17,37	5,53
Мода	Н/Д	Н/Д	Н/Д	5,2
ПДК	1000	7	350	45

Общая минерализация за период 2007 – 2015 гг. менялась незначительно (рис. 22), в пределах от 451 до 535 мг/л. Содержание хлоридов менялось от 7,8 до 21 мг/л. Нитратного загрязнения не наблюдается. Общая жесткость варьирует от 4,45 до 7 мг-экв/л.(табл. 13)

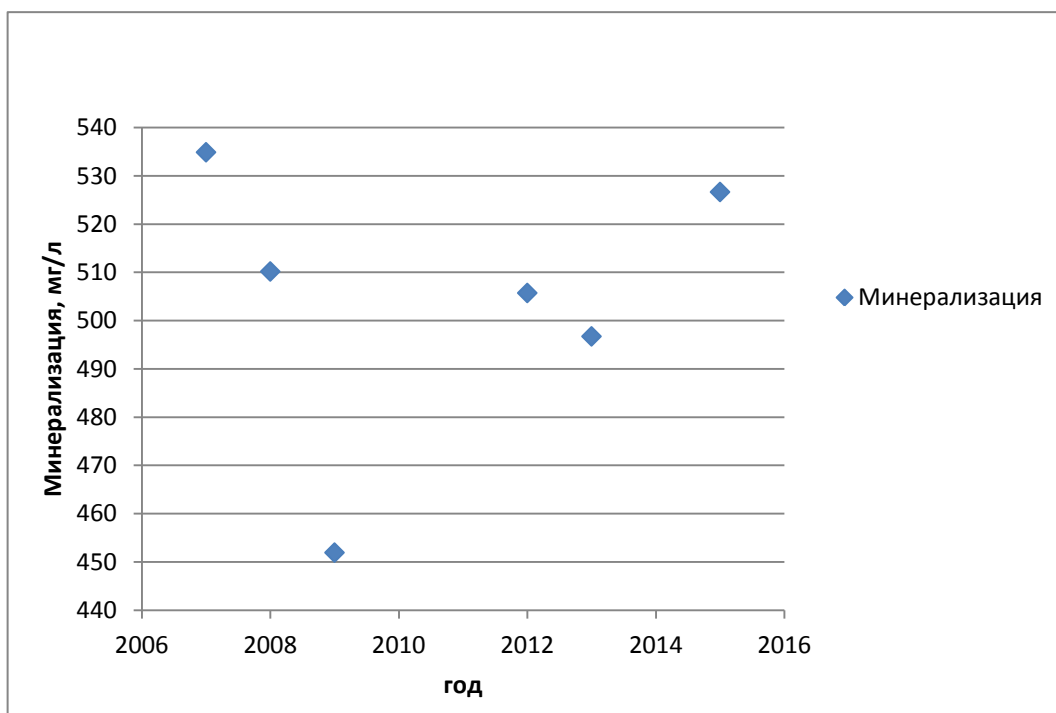


Рис.22. График изменения общей минерализации р. Оредеж за 2007 – 2015 гг.

По преобладающим компонентам воды истока реки Оредеж в деревне Донцо гидрокарбонатные кальциево-магниевые. В таблице 14 представлены статистические данные по изменению общей минерализации, общей жесткости, содержания сульфатов, нитратов в истоке реки за 2007-2013 гг.

Таблица 14

Исток реки Оредеж (дер.Донцо)

	Минерализация	Общая жесткость	SO₄²⁻	NO₃⁻
	мг/л	мг-экв/л	мг/л	мг/л
Максимум	857,89	7,9	270	39
Минимум	482,82	4	3	13,1
Среднее значение	590,68	5,88	60,26	21,62
Медиана	535,9	5,95	22,29	17,2
Мода	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д
ПДК	1000	7	500	45

Общая минерализация варьирует в пределах от 482 до 858 мг/л. Среднее значение для минерализации 590,68 мг/л, медиана равна 535,9 мг/л.

Общая жесткость варьирует от 4 до 7,9 мг-экв/л. Содержание сульфатов варьирует от 3 до 270 мг/л. Среднее значение содержания сульфатов 60,26 мг/л, а медиана 22,29 мг/л(табл.36). Выборка сделана по 6 доступным пробам воды, в 2011 году были зафиксированы аномально высокие содержания сульфатов, в остальные годы опробования состав воды оставался практически неизменным. Это дает основание усомниться в данных анализа 2011 г.

Содержание нитратов от 13,1 до 39 мг/л. Содержание всех определенных компонентов не превышает ПДК(табл.14).

Для сравнения рассмотрим воды ордовикского водоносного горизонта на примере эксплуатационной скважины РГГМУ. Общая минерализация воды скважины базы РГГМУ – в пределах 510 мг/л, общая жесткость около 5,6 мг-экв/л (рис.23) . По преобладающим компонентам воды горизонта гидрокарбонатные магниевые-кальциевые. Содержание всех компонентов не превышает ПДК.

Так как воды ордовикского водоносного горизонта формируют исток реки Оредеж, их химический состав определяет химический состав речной воды.

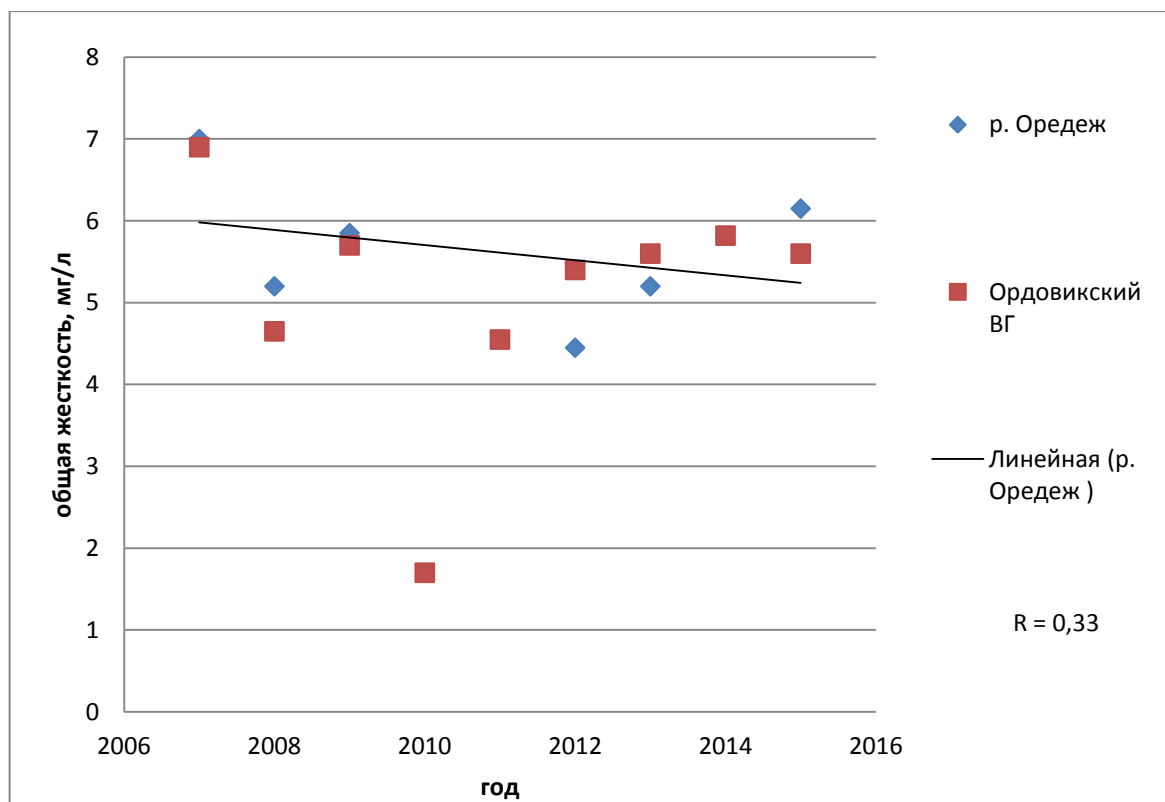


Рис.23. График изменения общей жесткости в ордовикском ВГ и р.Оредеж за 2007 – 2015 гг.

Для сравнения был проведен анализ зависимости общей жесткости поверхностных вод истока реки от общей жесткости ордовикского водоносного горизонта. Статистически значимой связи обнаружено не было (рис.24).

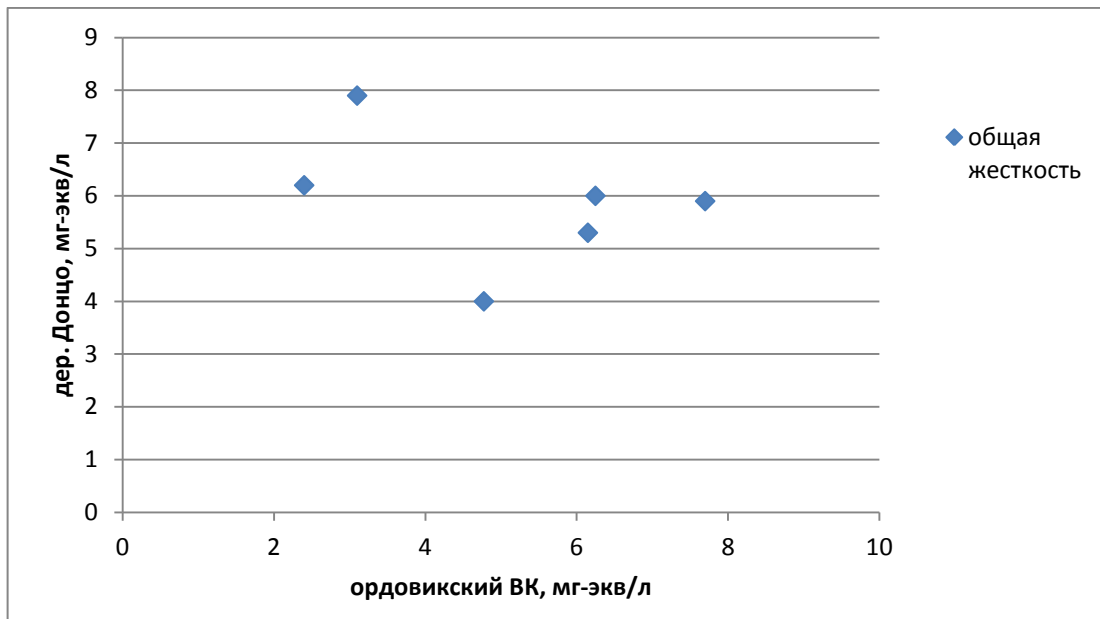


Рис.24. График зависимости общей жесткости воды истока реки Ордеж от общей жесткости ордовикского водоносного горизонта за 2007 – 2015 гг.

Обнаружена слабая статистическая связь между общей жесткостью р. Ордеж в районе дер. Даймище и истока реки (пос. Донцо). Коэффициент корреляции $r = 0,413$ (связь умеренная) (рис 25).

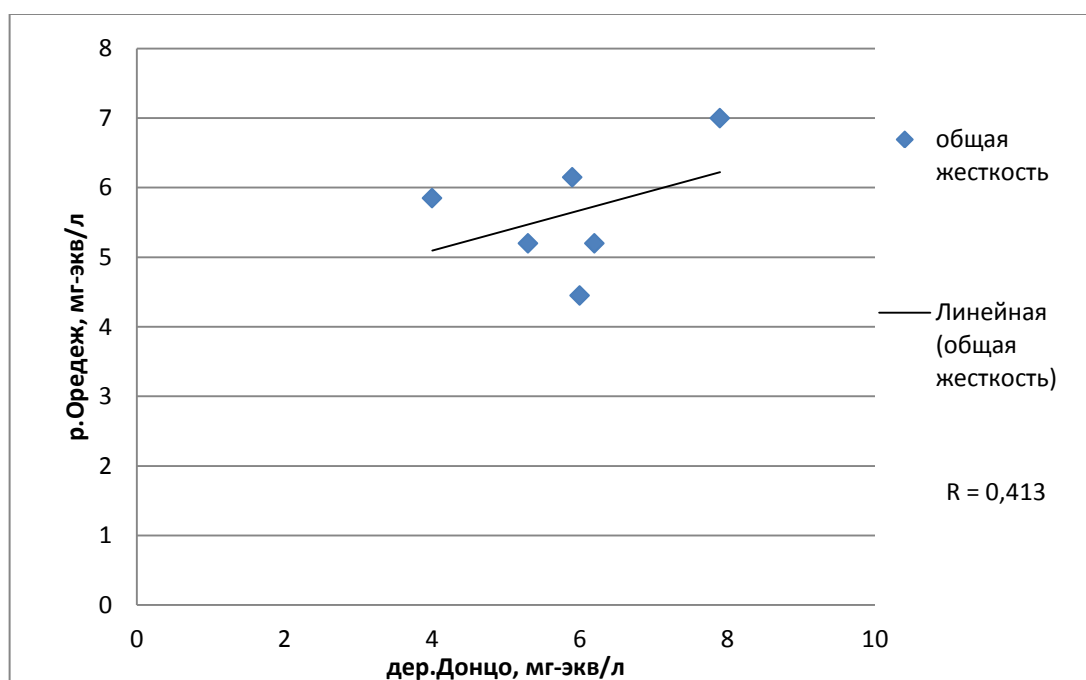


Рис.25. График зависимости изменения общей жесткости среднего течения и истока р. Ордеж в дер.Донцо.

Выводы:

Гидрохимический облик поверхностных вод определяется практически полностью составом вод истока, т.е. ордовикского водоносного комплекса, и в крайне незначительной степени – составом грунтовых вод, пополняющих речной сток.

Поверхностные воды пока сохраняют удовлетворительное качество, но фиксируется начальная степень загрязнения, главным образом, нитратами, что обусловлено активным антропогенным воздействием на водосборной площади реки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате обработки данных о химическом составе подземных и поверхностных вод были сделаны следующие выводы о многолетнем изменении гидрохимической обстановки исследуемой территории:

- На протяжении последних 10 лет химический состав природных вод участка остается относительно стабильным.

- Грунтовые воды загрязнены в основном соединениями азота – нитратами и ионами аммония. На правом берегу р. Оредеж загрязнение точечное, на левом берегу – площадное. По-видимому, загрязнение в основном обусловлено внесением органических удобрений и наличием на водоразделе заброшенных животноводческих ферм. Качество грунтовых вод на территории деревни многие годы остается невысоким, со значительным превышением ПДК по нитратам. В ряде водопунктов наблюдается тенденция к уменьшению содержания нитратов в грунтовых водах, но в целом по участку никаких статистически значимых хронологических закономерностей не выявлено.

- Воды ордовикского водоносного комплекса характеризуются удовлетворительным качеством, стабильным во времени, и пригодны на изучаемой территории для хозяйственно-питьевого водоснабжения.

- Гидрохимический облик поверхностных вод определяется практически полностью составом вод истока, т.е. ордовикского водоносного комплекса, и в крайне незначительной степени – составом грунтовых вод, пополняющих речной сток. Поверхностные воды пока сохраняют удовлетворительное качество, но фиксируется начальная степень загрязнения, главным образом, нитратами, что обусловлено активным антропогенным воздействием на водосборной площади реки.

Список литературы

Монографии:

1. Алексеев В. Н., Количественный анализ. М., 1972.
2. Гидрогеология СССР. Т.3. / Под ред. И.К. Зайцева. – М.: Недра, 1967. – 328 с.
3. Иберла К. Факторный анализ / пер. с нем. В. М. Ивановой; предисл. А. М. Дуброва. – М.: Статистика, 1980. – 398 с.
4. Игнатович Н.К. Гидрогеология Русской платформы. 1948.
5. Ильина Л., Грахов А. Бесценное богатство. Рассказ о реках и озерах Ленинградской области. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 144 с.
6. Крайнов С.Р., Рыженко В.М., Швец В.М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. М., 2004. – 676 с.
7. Плэмбек Д. Электрохимические методы анализа. Пер. с англ., М., 1985.
8. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Луга и рек бассейна Финского залива от северной границы бассейна реки Луги до южной грани бассейна реки Невы. Книга 1. Федеральное агентство водных ресурсов, 2015.
9. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. М., 1998. - 366 с.

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. Виноград Н.А., Каюкова Е.П., Павлов А.Н., Реш В., Сумина Н.И. Методы комплексной оценки качества подземных и поверхностных вод (практическая экология водных ресурсов). - Уч. пособие. СПб, 2007.

Нормативные документы:

1. ГОСТ Р 51593-2000. Вода питьевая. Отбор проб. Москва, 2008.
2. ГОСТ 52963-2008 Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов. Москва, 2009.
3. 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.

4. 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.
5. ПНД Ф 14.1:2.95-97 Методика выполнения измерений массовой концентрации кальция в пробах природных и очищенных сточных вод титриметрическим методом. Москва, 2004.
6. 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.
7. ПНД Ф 14.1:2.96-97 Методика выполнения измерений массовой концентрации хлоридов в пробах природных и очищенных сточных вод аргентометрическим методом. Москва, 2004.
8. ПНД Ф 14.1:2.98-97 Методика выполнения измерений жесткости в пробах природных и очищенных сточных вод титриметрическим методом. Москва, 2004.
9. РД 52.24.483-2005 Массовая концентрация сульфатов в водах. Методика выполнения измерений гравиметрическим методом. Москва, 2005.
10. 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.

Карта результатов гидрохимического опробования

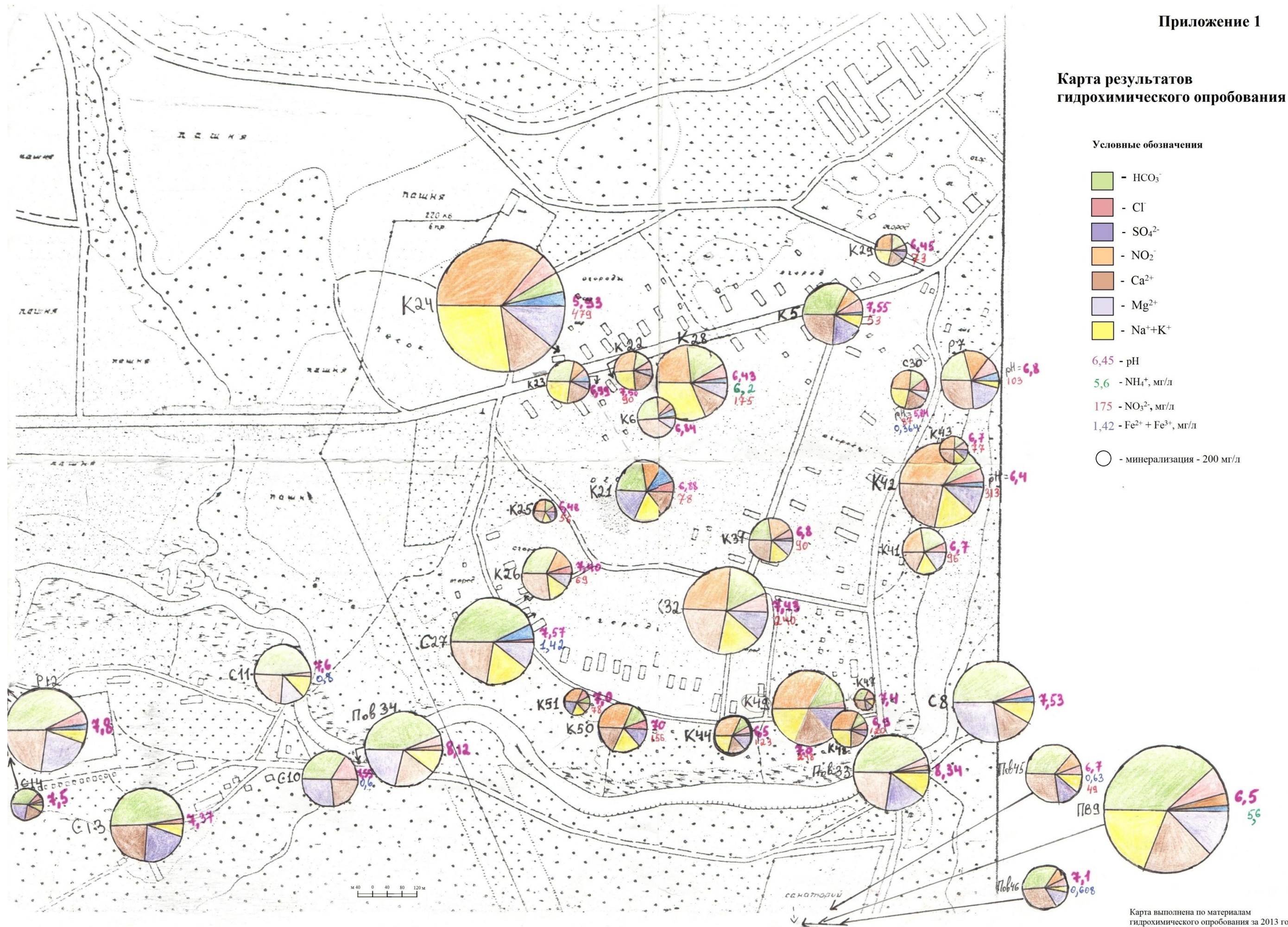
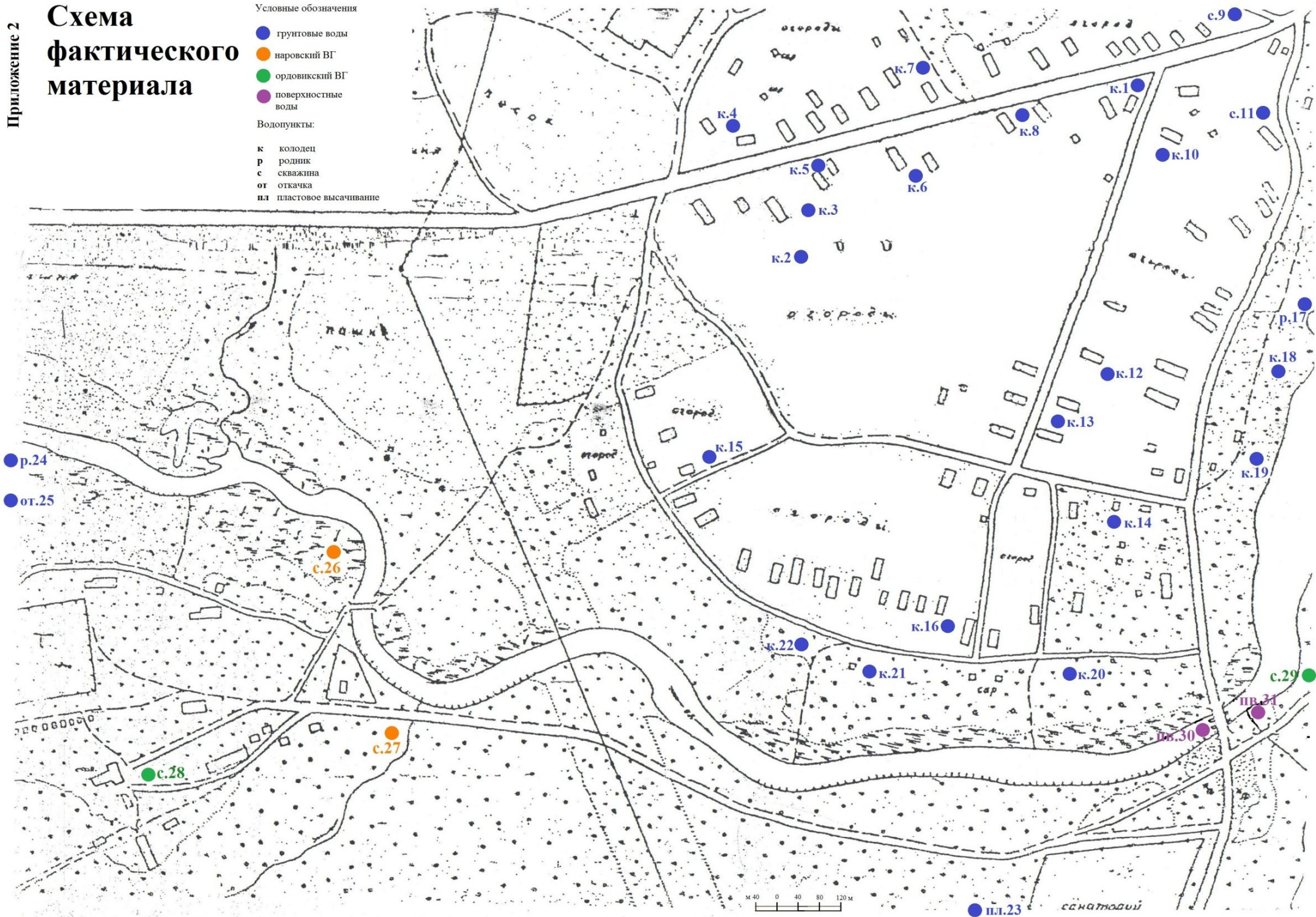


Схема фактического материала

- Условные обозначения
- грунтовые воды
 - наровский ВГ
 - ордовикский ВГ
 - поверхностные воды
- Водоупункты:
- к колодец
 - р родник
 - с скважина
 - от откачка
 - пл пластовое высачивание



Список водопунктов, отмеченных на карте фактического материала

№ т.н.	Тип источника	Привязка	Водоносный горизонт
Грунтовые воды			
к.1	колодец	Большой проспект д.81	D _{2st} + Q
к.2	колодец	Большой проспект д.93А ("Пожарный водоем")	D _{2st} + Q
к.3	колодец	Большой проспект д.93	D _{2st} + Q
к.4	колодец	Большой проспект д.186	D _{2st} + Q
к.5	колодец	Большой проспект д.95	D _{2st} + Q
к.6	колодец	Большой проспект д.91	D _{2st} + Q
к.7	колодец	Большой проспект д.174	D _{2st} + Q
к.8	колодец	Большой проспект д.87	D _{2st} + Q
с.9	скважина	Большой проспект д.154	D _{2st} + Q
к.10	колодец	Большой проспект д.85	D _{2st} + Q
с.11	скважина	ул.Набережная д.95	D _{2st} + Q
к.12	колодец	ул.Набережная д.65	D _{2st} + Q
с.13	скважина	ул.Набережная д.51	D _{2st} + Q
к.14	колодец	ул.Набережная д. 49	D _{2st} + Q
к.15	колодец	ул.Набережная д. 13	D _{2st} + Q
к.16	колодец	ул.Набережная д.41	D _{2st} + Q
р. 17	родник	Родник "Нитратный"	D _{2st} + Q
к.18	колодец	колодец - пойменный у бани	D _{2st} + Q
к.19	колодец	колодец - пойменный	D _{2st} + Q
к.20	колодец	ул.Набережная д. 40	D _{2st} + Q
к.21	колодец	ул.Набережная д.39	D _{2st} + Q
к.22	колодец	колодец - пойменный	D _{2st} + Q
пл.23	высачивание	"Пластовое высачивание"	D _{2st}
р.24	родник	Родник у спорткафедры РГГМУ	D _{2st}
от.25	откачка	Откачка из опытного куста скважин	D _{2st}
Напорные воды			
с.26	скважина	Скважина на пляже базы РГГМУ	D _{2nr}
с.27	скважина	Скважина у ворот базы РГГМУ	D _{2nr}
с.28	скважина	Скважина базы РГГМУ	O ₁₋₂
с.29	скважина	Эксплуатационная скважина п.Батово	O ₁₋₂
Поверхностные воды			
пв.30	поверхностные воды	р.Оредеж у автомобильного моста	
пв.31	поверхностные воды	Правый приток р. Оредеж, у моста	

**Двухфакторный дисперсионный анализ (с повторениями).
Минерализация воды**

ИТОГИ	Пойма	Водораздел	Итого
<i>2008</i>			
Счет	5	5	10
Сумма	1854,62	1566,13	3420,75
Среднее	370,924	313,226	342,075
Дисперсия	10995,52	20820,13	15065,03
<i>2009</i>			
Счет	5	5	10
Сумма	1736,187	1917,825	3654,012
Среднее	347,2374	383,565	365,4012
Дисперсия	12322,34	18581,53	14101,63
<i>2011</i>			
Счет	5	5	10
Сумма	1681,65	1347,07	3028,72
Среднее	336,33	269,414	302,872
Дисперсия	10949,04	10510,06	10781,2
<i>2012</i>			
Счет	5	5	10
Сумма	1802,89	1859,48	3662,37
Среднее	360,578	371,896	366,237
Дисперсия	14812	30455,9	20154,65
<i>2013</i>			
Счет	5	5	10
Сумма	1739,06	2065,21	3804,27
Среднее	347,812	413,042	380,427
Дисперсия	6697,523	73329,57	36749,53
<i>2015</i>			
Счет	5	5	10
Сумма	1304,72	1047,43	2352,15
Среднее	260,944	209,486	235,215
Дисперсия	3687,923	12212,78	7802,513
<i>Итого</i>			
Счет	30	30	
Сумма	10119,13	9803,145	
Среднее	337,3042	326,7715	
Дисперсия	9531,784	28045,09	

Дисперсионный анализ

<i>Источник вариации</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-Значение</i>	<i>F критическое</i>
Выборка	149502,6	5	29900,52	1,592045941	0,180348832	2,408514112
Столбцы	1664,077	1	1664,077	0,088603379	0,767244794	4,042651985
Взаимодействие	38729,62	5	7745,925	0,412429884	0,837797342	2,408514112
Внутри	901497,2	48	18781,19			
Итого	1091394	59				

Хлориды

ИТОГИ	Пойма	Водораздел	Итого
<i>2008</i>			
Счет	5	5	10
Сумма	159,25	152,61	311,86
Среднее	31,85	30,522	31,186
Дисперсия	59,90855	529,2179	262,3239
<i>2009</i>			
Счет	5	5	10
Сумма	70,374	71,22	141,594
Среднее	14,0748	14,244	14,1594
Дисперсия	9,531045	18,43703	12,43821
<i>2011</i>			
Счет	5	5	10
Сумма	91,11	73,56	164,67
Среднее	18,222	14,712	16,467
Дисперсия	46,13372	91,67362	64,66996
<i>2012</i>			
Счет	5	5	10
Сумма	118,38	135,77	254,15
Среднее	23,676	27,154	25,415
Дисперсия	98,97088	232,3246	150,6026
<i>2013</i>			
Счет	5	5	10
Сумма	117,06	117,89	234,95
Среднее	23,412	23,578	23,495
Дисперсия	104,6792	156,0478	115,8863
<i>2015</i>			
Счет	5	5	10
Сумма	96,11	88,26	184,37
Среднее	19,222	17,652	18,437
Дисперсия	79,67812	260,3637	151,8144
<i>Итого</i>			
Счет	30	30	
Сумма	652,284	639,31	
Среднее	21,7428	21,31033	
Дисперсия	87,12911	217,4917	

Дисперсионный анализ

<i>Источник вариации</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-Значение</i>	<i>F критическое</i>
Выборка	2017,191	5	403,4382	2,869801383	0,024010966	2,408514112
Столбцы	2,805411	1	2,805411	0,019955904	0,888251523	4,042651985
Взаимодействие	68,94772	5	13,78954	0,09809001	0,992012389	2,408514112
Внутри	6747,865	48	140,5805			
Итого	8836,809	59				

Нитраты

ИТОГИ	Пойма	Водораздел	Итого
<i>2008</i>			
Счет	5	5	10
Сумма	659,4	290,22	949,62
Среднее	131,88	58,044	94,962
Дисперсия	4840,327	5040,258	5905,747
<i>2009</i>			
Счет	5	5	10
Сумма	782,5	802,415	1584,915
Среднее	156,5	160,483	158,4915
Дисперсия	6613,25	15802,05	9966,763
<i>2011</i>			
Счет	5	5	10
Сумма	235,13	95,44	330,57
Среднее	47,026	19,088	33,057
Дисперсия	1002,426	547,0569	905,4734
<i>2012</i>			
Счет	5	5	10
Сумма	811	619,48	1430,48
Среднее	162,2	123,896	143,048
Дисперсия	3886,7	14338,2	8507,511
<i>2013</i>			
Счет	5	5	10
Сумма	915,6	832,7	1748,3
Среднее	183,12	166,54	174,83
Дисперсия	8973,172	33392,05	18905,35
<i>2015</i>			
Счет	5	5	10
Сумма	345,2	184,3	529,5
Среднее	69,04	36,86	52,95
Дисперсия	772,503	167,338	705,3606
<i>Итого</i>			
Счет	30	30	
Сумма	3748,83	2824,555	
Среднее	124,961	94,15183	
Дисперсия	6186,813	13133,6	

Дисперсионный анализ

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Выборка	170464,1	5	34092,83	4,289515041	0,00263724	2,408514112
Столбцы	14238,07	1	14238,07	1,791415575	0,187059352	4,042651985
Взаимодействие	8326,419	5	1665,284	0,209523847	0,956871259	2,408514112
Внутри	381501,3	48	7947,944			
Итого	574530	59				

Двухфакторный дисперсионный анализ (с повторениями)

Нитраты, сравнение правого и левого берегов р. Оредеж

ИТОГИ	Пойма	Водораздел	Правый берег	Итого
<i>2008</i>				
Счет	3	3	3	9
Сумма	349,9	107,2	20,04	477,14
Среднее	116,6333	35,73333	6,68	53,0155556
Дисперсия	4150,863	383,4133	81,6924	3588,82248
<i>2009</i>				
Счет	3	3	3	9
Сумма	495	563,415	19,37	1077,785
Среднее	165	187,805	6,456667	119,753889
Дисперсия	4629	28498,51	61,90643	15615,2632
<i>2011</i>				
Счет	3	3	3	9
Сумма	102,33	28,7	196,12	327,15
Среднее	34,11	9,566667	65,37333	36,35
Дисперсия	1361,709	5,037733	12197,3	3977,78015
<i>2012</i>				
Счет	3	3	3	9
Сумма	530	324,48	14,98	869,46
Среднее	176,6667	108,16	4,993333	96,6066667
Дисперсия	6608,333	27735,57	28,97613	14194,2528
<i>2013</i>				
Счет	3	3	3	9
Сумма	507	567,7	46,607	1121,307
Среднее	169	189,2333	15,53567	124,589667
Дисперсия	5383	63046,64	642,3009	24034,4322
<i>2015</i>				
Счет	3	3	3	9
Сумма	205,6	95,4	41,68	342,68
Среднее	68,53333	31,8	13,89333	38,0755556
Дисперсия	441,8033	38,44	555,1521	840,788378
<i>Итого</i>				
Счет	18	18	18	
Сумма	2189,83	1686,895	338,797	
Среднее	121,6572	93,71639	18,82206	
Дисперсия	5771,944	19811,77	2071,511	

Дисперсионный анализ

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Выборка	73917,66	5	14783,53	1,70743769	0,15791975	2,477168669
Столбцы	101789,5	2	50894,77	5,87813855	0,00617869	3,259446306
Взаимодействие	84521,88	10	8452,188	0,97619327	0,48044374	2,10605391
Внутри	311699,3	36	8658,314			
Итого	571928,4	53				

**Двухфакторный дисперсионный анализ (без повторений), ордовикский ВГ
Минерализация**

<i>ИТОГИ</i>	<i>Счет</i>	<i>Сумма</i>	<i>Среднее</i>	<i>Дисперсия</i>
2007	2	1066,39	533,195	890,8421
2008	2	1052,92	526,46	1798,8
2009	2	848,913	424,4565	707,4441
2010	2	829,57	414,785	752,3321
2011	2	1125,19	562,595	30,03125
2012	2	457,22	228,61	104525,1
2013	2	1021,105	510,5525	1169,587
2014	2	517,3	258,65	133799,6
2015	2	1207,99	603,995	17422,84

Скважина базы РГГМУ	9	4424,024	491,5582	1739,449
Эксплуатационная скважина п.Батово	9	3702,574	411,3971	62364,99

Дисперсионный анализ

<i>Источник вариации</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P- Значение</i>	<i>F критическое</i>
Строки	280655	8	35081,88	1,20878	0,397535	3,438101
Столбцы	28916,12	1	28916,12	0,996332	0,34743	5,317655
Погрешность	232180,5	8	29022,56			
Итого	541751,6	17				

Хлориды

<i>ИТОГИ</i>	<i>Счет</i>	<i>Сумма</i>	<i>Среднее</i>	<i>Дисперсия</i>
2007	2	19,53	9,765	1,56645
2008	2	22,54	11,27	0,0098
2009	2	13,471	6,7355	20,35858
2010	2	28,4	14,2	25,205
2011	2	20,57	10,285	20,28845
2013	2	28,17	14,085	79,25405
2015	2	34,03	17,015	182,9785

Скважина базы РГГМУ	7	56,755	8,107857	6,645782
Эксплуатационная скважина п.Батово	7	109,956	15,708	38,09055

Дисперсионный анализ

<i>Источник вариации</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P- Значение</i>	<i>F критическое</i>
Строки	140,9248	6	23,48747	1,105352	0,453166	4,283866
Столбцы	202,1676	1	202,1676	9,514278	0,021538	5,987378
Погрешность	127,4932	6	21,24886			
Итого	470,5856	13				