



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра гидрологии суши

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)

На тему **Применение данных**  
**гидрохимического мониторинга**  
**в гидрологии**

Исполнитель Федорец Ольга Александровна  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель К.Г.Н., доцент  
(ученая степень, ученое звание)

Тимофеева Лариса Александровна  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

(подпись)

К.Г.Н., доцент  
(ученая степень, ученое звание)

Сикан Александр Владимирович  
(фамилия, имя, отчество)

«9» июля 2018г.

Санкт-Петербург  
2018



Содержание	
Введение.....	3
1 Физико-географическая характеристика территории.....	5
1.1 Геологическое строение и рельеф.....	6
1.2 Климат.....	8
1.3 Почвы и растительность.....	9
1.4 Озерность и заболоченность.....	9
1.5 Характеристика рек.....	10
2 Химический состав природных вод и факторы его формирования	13
2.1 Факторы формирования химического состава вод.....	14
2.2 Зависимость концентрации растворенного вещества от водного режима.....	16
3 Гидрологические приложения результатов гидрохимического мониторинга рек .....	20
3.1 Исходные данные: обоснование выбора и основные методы обработки.....	20
3.2 Река Кересть.....	24
3.3 Река Тигода.....	29
3.4 Река Полисть.....	35
3.5 Река Исса.....	41
3.6 Река Резекне.....	45
3.7 Река Желча.....	49
3.8. Река Плюсса.....	53
4 Оценка среднегодового стока по значению общей минерализации	63
Заключение.....	82
Список использованных источников.....	83

## Введение

Детальное изучение изменчивости химического состава вод местного стока представляет значительный интерес в связи с интенсивным использованием их в народном хозяйстве. Воды местного стока тесно связаны с ландшафтом: формирование их химического состава происходит под воздействием как зональных, так и местных физико – географических факторов. Многие из этих факторов играют важную роль при формировании стока воды и обуславливают водный режим малых водотоков. Таким образом, их водный и гидрохимический режим тесно связаны. Ранее специалистами Государственного гидрологического института эта связь детально изучалась. Однако в настоящее время гидрологи уделяют недостаточно внимания “генетической гидрологии”.

Цель дипломной работы – показать, как данные гидрохимического мониторинга могут быть применены для решения прикладных гидрологических задач.

Для достижения цели нужно выполнить следующие задачи:

- выбрать объекты исследования и собрать гидрологические и гидрохимические данные;
- выполнить качественный и статистический анализ исходных данных и интерпретировать результаты анализа;
- оценить зависимость ионного состава и общей минерализации вод исследуемых рек от их водности;
- восстановить значения среднегодовых расходов воды по полученным зависимостям и оценить точность восстановления.

В работе исследуются реки Кересть, Тигода, Полисть, Плюсса, Исса, Желча и Резекне. Исходные данные: результаты анализа химического состава вод рек, значения измеренных во время отбора проб и среднегодовых расходов воды за период 1946–2014 гг. Все данные

получены в результате гидрологического и гидрохимического мониторинга на сети Росгидромета и доступны в справочной литературе.

Направленность работы актуальна, поскольку результаты могут быть применены для оценки стока малых рек в случае прекращения наблюдений за их гидрологическим режимом.

# 1 Физико-географическая характеристика территории

Объектами исследования данной дипломной работы являются семь малых рек – Тигода, Кересть, Полисть, Желча, Исса, Резекне, Плюсса – водосборы которых расположены на территории восточной Латвии, Псковской, Новгородской и Ленинградской областей. Все реки находятся на Восточно-Европейской равнине и принадлежат бассейну Балтийского моря (рис. 1.1). Выбор территории обусловлен ее геологической и относительной климатической однородностью, а также наличием многочисленных малых водотоков.

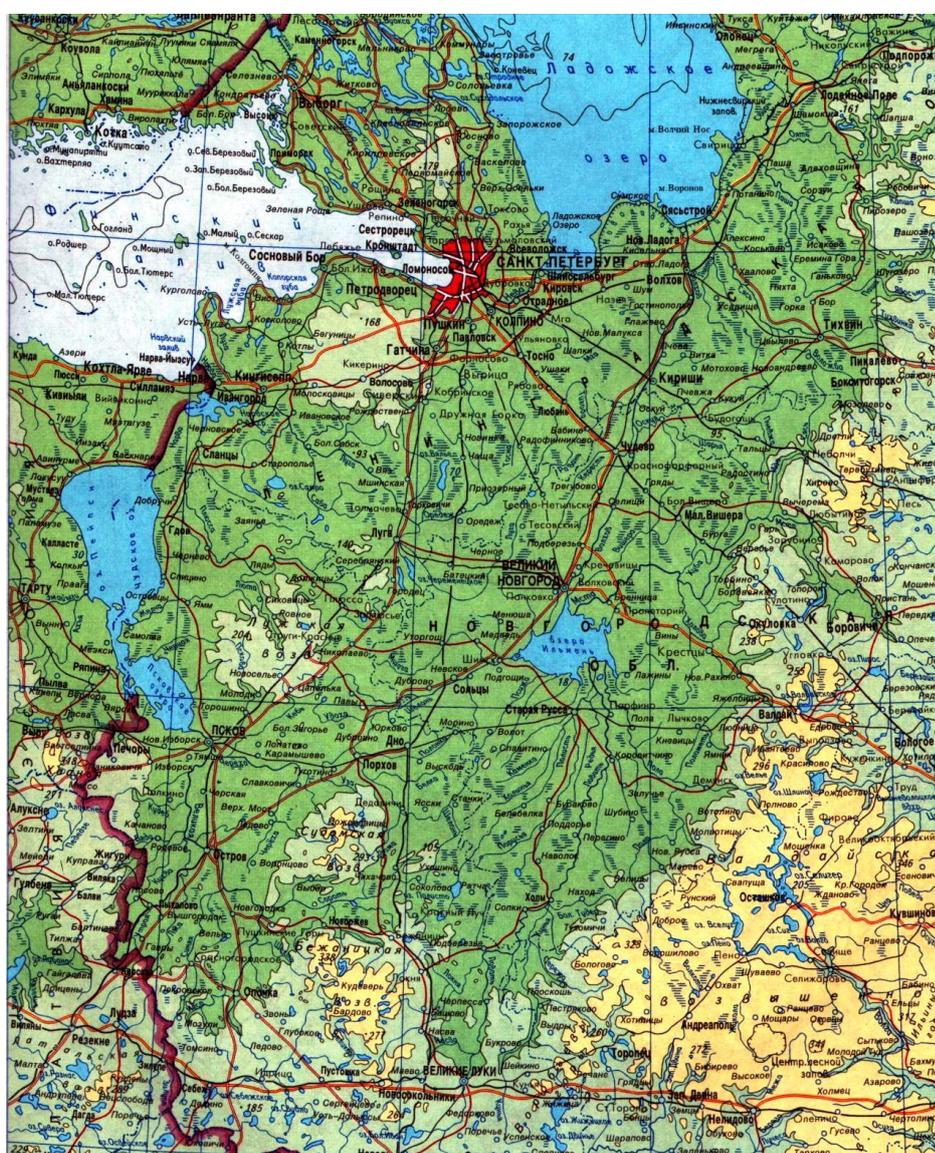


Рисунок 1.1 Карта-схема исследуемой территории

## 1.1 Геологическое строение и рельеф

Исследуемая территория расположена на северо-западе Восточно-Европейской равнины. Кристаллический фундамент, слагаемый гранитами и гнейсами, залегает на глубине от 300 м на севере, до 1600 м на юге. На нем залегает осадочный чехол общей мощностью от 300 до 1600 м.

Район исследований характеризуется повсеместным распространением четвертичных, главным образом ледниковых отложений, под которыми залегают коренные породы девонской системы. Мощность четвертичных отложений изменяется по территории от 0,5 до 35 м, составляя преимущественно 10-15 м. Ледниковые отложения представлены главным образом, моренными суглинками, которые местами, особенно на северо-западе, перекрыты озерно-ледниковыми отложениями (песками, супесями) (рис. 1.2).

В долинах рек развиты аллювиальные отложения, мощность которых иногда достигает несколько метров. Коренные породы, залегающие непосредственно под четвертичными отложениями, представлены верхнедевонскими, преимущественно карбонатными породами (известняками и доломитами), реже – песчано-глинистыми образованиями. Мощность верхнедевонских отложений составляет 70-80 м, а глубина залегания от поверхности земли изменяется от 0,5 до 30 м. Долины наиболее крупных рек частично пререзают вышеуказанные отложения.

Гидрогеологические условия территории довольно сложны. Она расположена в центральной части обширного Прибалтийского артезианского бассейна, включающего мощный комплекс водоносных горизонтов – от девонского до кембрийского. В районе исследований наблюдается частичная разгрузка напорных вод некоторых из указанных горизонтов.

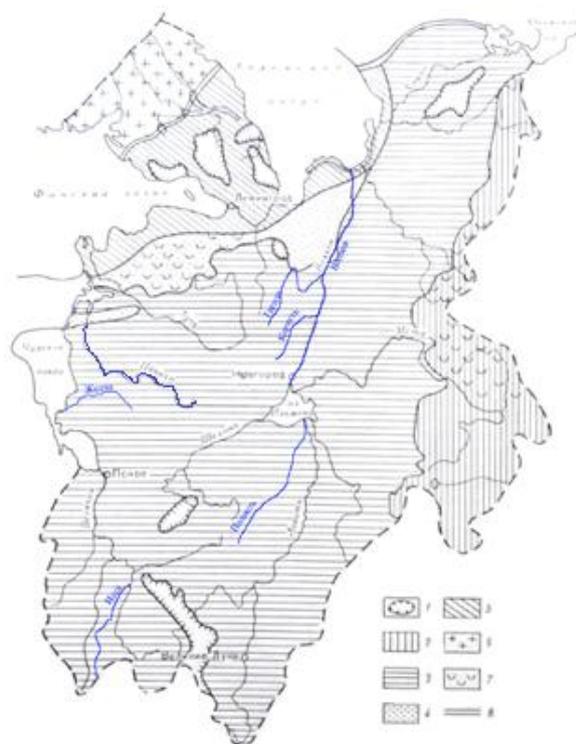


Рисунок 1.3 Геологическая карта Северо-Запада России. 1 – четвертичные комплексы значительной мощности, 2 – каменноугольные, 3 – девонские, 4 – ордовикские, 5 – кембрийские, 6 – архейские и протерозойские, 7 – участки проявления карста, 8 – граница палеозойских и архейско-протерозойских отложений

Первый от поверхности земли постоянный водоносный горизонт почти повсеместно приурочен к четвертичным отложениям и находится на глубине 2-10 м. На большей части территории грунтовые воды залегают в моренных отложениях и отличаются слабой водоносностью. Мощность отдельных водоносных пластов колеблется от 0,1 до 1 м. На остальной территории грунтовые воды залегают в озерно – ледниковых или болотных отложениях. Грунтовые воды, развитые в пределах исследуемой территории, имеют, как правило, постоянную гидравлическую связь с реками и дренируются их руслами; лишь в редких случаях отмечены выходы грунтовых вод выше уреза воды в реке – нисходящие грунтовые воды (родников). Ниже грунтовых вод залегает комплекс напорных водоносных горизонтов, мощность которых составляет не менее 50 м.

Верхние горизонты водоносного комплекса характеризуются незначительной минерализацией воды (около 1 г/л) и преобладанием ионов  $\text{HCO}_3$  и Ca. Нижние слои комплекса отличаются более высокой минерализацией (2 – 3 г/л) и нередко повышенным содержанием ионов  $\text{SO}_4$  [1].

### Рельеф

Рельеф рассматриваемой территории преимущественно равнинно-холмистый. Водосборы рек Тигода, Кересть, Полисть находятся на высоте около 100 м над уровнем моря. Падение р. Тигода – около 46 м, р. Кересть – 27 м, р. Полисть – 73 м. Водосбор р. Желча находится на высоте 30-50 м над уровнем моря, падение реки составляет около 20 м. Водосбор р. Исса расположен на высоте 200-100 м над уровнем моря, её падение составляет 52 м. Средняя высота водосбора р. Плюсса составляет 86 м над уровнем моря, а его средний уклон 0,32 ‰.

### 1.2 Климат

Рассматриваемая территория расположена в умеренном климатическом поясе, между  $55^\circ$  и  $60^\circ$  северной широты. Климат умеренно-континентальный, влажный, с чертами морского.

Средняя годовая температура на северо-восточных водосборах составляет  $+2^\circ\text{C}$ , на южных –  $+4^\circ\text{C}$ . Самый холодный месяц на всей исследуемой территории – январь. Количество дней с положительными среднесуточными значениями температуры составляет 190-200 дней. К концу апреля вся территория освобождается от снежного покрова. Средняя продолжительность лета изменяется от 3,5 до 4 месяцев. Осень наступает в середине – конце сентября и длится около двух месяцев. В среднем зима длится 3-4 месяца, до середины марта.

Среднегодовая сумма осадков составляет 700-750 мм. Около 40-45 % годовых осадков выпадают с ноября по март. Максимум осадков приходится на летний период. Снежный покров образуется в третьей

декаде ноября или первой декаде декабря, но его максимум наблюдается во второй-третьей декаде февраля, иногда в первой декаде марта.

### 1.3 Почвы и растительность

В северной части региона почвы преимущественно торфяно-подзолисто-глеевые и подзолисто-глеевые. В южной части торфянистые почвы встречаются реже, здесь распространены дерново-подзолистые, подзолистые почвы и подзолы. На водосборе р. Резекне почвы дерново-подзолистые, дерново-глеевые и дерново-подзолисто-глеевые.

Рассматриваемая территория в основном расположена в южной подзоне тайги; а северо-восточная часть – в подзоне средней тайги, крайняя юго-западная часть – в зоне смешанных лесов.

До 75 % площади северных водосборов покрыты лесом, а южных – 46–53 %. Только залесённость водосбора р. Резекне невелика – 10 %. До 30 % территории покрыты болотами и заболоченными землями. Болота обычно верховые (сфагновые), иногда низинного и переходного характера.

### 1.4 Озерность и заболоченность

На территории расположены многочисленные озера. Только в Псковской области более 3700 озер. Наибольший процент озерности наблюдается на водосборах рек Полисть и Резекне (5 и 12 % соответственно). Водосборы остальных рек имеют меньшую озерность: рр. Плюсса, Исса, и Желча – 1 %, а Тигода и Кересть менее 1 %. На водосборе р. Резекне множество искусственных прудов и водоемов.

На всей исследуемой территории много болот. Преобладают болота с выпуклой поверхностью, олиготрофной растительностью и мощными торфяниками различной степени разложения [2].

Наиболее заболочен водосбор р. Полисть (26 %). Высока заболоченность бассейнов рр. Тигода (14 %) и Плюсса (16 %). Заболоченность водосбора р. Желча 8 %, р. Кересть – 7 %, р. Резекне – 5 %. Водосбор р. Исса – 4 % наименее заболочен.

### 1.5 Характеристика рек

*Река Плюсса* берет начало из небольшого оз. Глухого, находящегося на мелиорированном Заплюском болотном массиве. Впадает в Нарвское водохранилище. Длина реки 281 км, площадь водосбора 6550 км<sup>2</sup>. Средний расход воды в районе Сланцев 50 м<sup>3</sup>/с.

Коэффициент густоты речной сети бассейна 0,56 км/км<sup>2</sup>. Озера в бассейне развиты слабо. Болота занимают значительные площади, особенно в верховьях р. Плюсы и в бассейнах ее притоков. Залесенность правобережной части бассейна около 70%, левобережной – 30-40% [2].

*Река Тигода* – приток р. Волхов (рис. 1.3). Берет начало около болота Тушинский мох. Длина реки 143 км, средний уклон составляет 0,32 ‰, площадь водосбора 2 290 км<sup>2</sup>, густота речной сети 0,76 км/км<sup>2</sup>. Площадь лесов составляет около 74 %, пашни же занимают всего 14 % водосбора



Рисунок 1.4 Вид на р. Тигода

Бассейн равнинный, изредка встречаются отдельные невысокие холмы вытянутой формы. Грунты суглинистые, местами глинистые, на болотах торфянистые.

Склоны долины рассеченные, в верхнем течении умеренно крутые, изредка крутые и обрывистые, ниже – пологие [2].

*Река Кересть* так же является притоком р. Волхов. Вытекает из болот в Новгородском районе, неподалёку от истока р. Луга. Длина реки 100 км, средний уклон составляет 0,27 ‰, площадь водосбора 933 км<sup>2</sup>, густота речной сети примерно 0,81 км/км<sup>2</sup>.

Поверхность бассейна равнинная, местами слабоволнистая. Грунты суглинистые и глинистые, в верховье супесчаные, на болотах торфянистые. Территория бассейна покрыта смешанным лесом, у селений местность занята лугами и пашнями. Южная часть бассейна значительно заболочена.

Долина преимущественно слабовыраженная. Склоны луговые, пологие и умеренно крутые, изредка обрывистые, сложены суглинками и известняками. [2].

*Река Полисть* вытекает из оз. Полисто и впадает в р. Ловать. Длина реки – 176 км, средний уклон реки – 0,42 ‰, площадь водосбора 3630 км<sup>2</sup>.

На юге водосбора множество озер. В верхнем и нижнем течении реки территория заболочена. Грунты на заболоченных пространствах торфянистые, на остальной территории они представлены суглинками, супесями и песками.[2].

*Река Желча* впадает в оз. Чудское. Исток находится на Лужской возвышенности, к северу от оз. Дубенское. Длина реки 107 км, средний уклон 0,84 ‰. Площадь водосбора составляет 1220 км<sup>2</sup>. В верховьях рельеф мелкохолмистый и средне-холмистый. Распространены валунные супеси, глины, реже пески. Ближе к устью водосбор низинный, ровный, заболоченный, сложен флювиогляциальными отложениями. Река протекает через цепь озер. В устье пойма сливается с зоной разлива оз. Чудское. Грунт супесчаный и торфянистый [2].

*Река Исса* вытекает из оз. Дедино и впадает в р. Великая. Длина реки – 164 км, средний уклон – 0,31 ‰, площадь водосбора 1580 км<sup>2</sup>.

Рельеф бассейна мелкохолмистый. Высота холмов не превышает 10–15 м. В понижениях между холмами часто расположены верховые болота, изредка – небольшие озера. Грунты суглинистые и глинистые в нижней части водосбора встречаются пески. Бассейн покрыт смешанными лесами, в нижнем течении – луга и пашни.

Талые воды болот, сливаясь с полыми водами реки, образуют весной обширное водное пространство. Грунт суглинистый, на заболоченных участках торфянистый, местами супесчаный [2].

*Река Резекне* вытекает из оз. Разна на Латгальской возвышенности, а впадает в оз. Лубанс на Восточно-Латвийской низменности (рис. 1.4). Длина реки – 116 км, уклон 0,82 ‰. Площадь водосбора составляет 2025,7 км<sup>2</sup>. Средняя ширина русла 9,5 м, средняя глубина реки 1-1,1 м.



Рисунок 1.4 Вид на р. Резекне

В верховье и среднем течении река протекает через моренные холмы. Долина реки трапецеидальная, болотистые места выражены не ярко. Протекает через водохранилища [2].

## 2. Химический состав природных вод и факторы его формирования

Химический состав природной воды – это комплекс газов, коллоидов минерального и органического происхождения, а так же ионов, растворенных в ней в естественных условиях.

Химические вещества и элементы в составе природных вод условно делятся на шесть основных групп [3]:

- 1) главные ионы (макрокомпоненты): калий  $K^+$ , натрий  $Na^+$ , магний  $Mg^{2+}$ , кальций  $Ca^{2+}$ , хлор  $Cl^-$ , сульфат  $SO_4^{2-}$ , гидрокарбонат  $HCO_3^-$  и карбонат  $CO_3^{2-}$ ;
- 2) растворенные газы: кислород, азот, сероводород, диоксид углерода и др.;
- 3) биогенные вещества: соединения азота, фосфора, железа и кремния;
- 4) органические вещества: разнообразные органические соединения, относящиеся к органическим кислотам, сложным эфирам, фенолам, гумусовым веществам, азотсодержащим соединениям (белки, аминокислоты, амины) и др.;
- 5) микроэлементы (микрокомпоненты): все металлы, кроме главных ионов ( $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ), а также некоторые другие компоненты, содержащиеся в водах в небольших количествах (например, радиоактивные элементы);
- 6) загрязняющие вещества: нефтепродукты, фенолы, пестициды, синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ) и др.

Минерализация воды – это общее содержание в воде всех обнаруженных при анализе минеральных веществ. Сумма ионов ( $\Sigma$ и) – арифметическая сумма всех содержащихся в исследуемой воде ионов в

миллиграммах или граммах на  $\text{дм}^3$ , концентрация которых больше  $0,1 \text{ мг/дм}^3$ .

Химический состав вод в реке является результатом одновременно протекающих нескольких взаимосвязанных процессов, происходящих на водосборе.

## 2.1 Факторы формирования химического состава вод

Под воздействием разнообразных физико-географических факторов на водосборах протекают различные биологические, физические и физико-химические процессы, определяющие химический состав речных вод. К главным процессам можно отнести:

- растворение твердых веществ водой;
- обмен ионов между твердым веществом и ионным составом воды;
- окислительно-восстановительные процессы;
- уменьшение концентрации растворенных веществ в результате выпадения атмосферных осадков, снеготаяния;
- смешение вод различного состава;
- биохимические процессы и пр.

На химический состав воды оказывают косвенное влияние различные физико-географические факторы: климат, геологическое строение водосбора, почвенный покров, растительность, озерность, заболоченность, а так же водный режим.

*Климат.* Климатом определяются гидрометеорологические условия на водосборах, которые, в свою очередь, формируют водный режим рек, степень озёрности, заболоченности водосборов, уровень грунтовых вод. Климат обуславливает тип почв, интенсивность химического выветривания пород. Важным климатическим фактором являются осадки.

Минерализация и ионный состав атмосферных осадков в значительной мере зональны. На исследуемой территории в составе осадков преобладают сульфаты и кальций. Среднегодовая минерализация атмосферных осадков 20-60 мг/дм<sup>3</sup>. [4]. Атмосферные осадки являются основным источником поступления сульфатов и хлоридов в природные воды.

*Геологическое строение.* Горные породы обогащают природные воды главными ионами в результате выветривания изверженных и образовавшихся из них обломочных пород, а так же в результате растворения солей, находящихся в осадочных породах. Такие легко растворимые в воде породы, как известняки ( $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$ ), гипсы ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ ), каменная соль ( $\text{NaCl}$ ) и другие, широко распространенные в земной коре, являются важными источниками поступления в природные воды ионов кальция, магния, натрия, калия, карбонатов и гидрокарбонатов. Растворимость кальция и магния в воде зависит от содержания двуокиси углерода в ней: чем выше его содержание, тем больше концентрация солей кальция и магния в воде. Натрий и калий поступают в природные воды благодаря выщелачиванию горных пород и почв [5]. Калий в большой мере поглощается растениями, так как является для них питательным веществом.

*Почвы.* При контакте воды с почвами происходят реакции выщелачивания растворимых частей почвенного покрова, таким образом, в воде увеличивается содержание ионов и органических веществ, изменяется количество растворённых газов.

При фильтрации через подзолистые или торфянисто-глеевые почвы вода обогащается органическими соединениями, но поступление главных ионов незначительно. Почвы могут быть основным источником хлоридов. [3].

*Водный режим.* Основными гидрологическими факторами, влияющими на изменение химического состава воды, являются:

длительность многоводной или маловодной фаз, величина расхода воды в водотоке и скорость течения, ширина и глубина (водоема), температура воды, наличие ледового покрова, волнение, интенсивность турбулентного перемешивания. Гидродинамические процессы влияют на характер и скорость протекания физико-химических и биологических процессов, снижающих концентрацию загрязняющих веществ в водных объектах и повышающих способность водного объекта к самоочищению [6].

Таким образом, климат и водный режим объекта вносят наибольший вклад в формирование гидрохимического режима.

## 2.2 Зависимость концентрации растворенного вещества от водного режима

По классификации Б.Д. Зайкова [7] исследуемые реки относятся к группе рек с весенним половодьем. По характеру половодья и режима расходов их можно отнести к восточноевропейскому типу, который характеризуется высоким половодьем, низкой летней и зимней меженью и повышенным стоком осенью. Максимальный расход половодья в среднем в 10–20 раз превышает средний годовой расход.

По классификации М.И. Львовича различают следующие источники питания [8]: снеговое, дождевое, ледниковое, грунтовое. Рассмотрим снеговое, дождевое и грунтовое (подземное) питание.

Снеговое питание формирует воды с малой минерализацией, с преобладанием  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{Ca}^{2+}$ , так как талые воды растворяют только соли в верхнем слое почвы. Химический состав талых вод зависит от химического состава атмосферных осадков.

Дождевое питание так же формирует малую минерализацию вод, но более высокую, чем снеговое; это связано с большей интенсивностью промывания почв и грунтов. Значения минерализации воды в период весеннего половодья и паводков могут отличаться в 1,5–2 раза.

Подземное питание преобладает в меженный период и характеризуется высокой минерализацией и химическим составом, обусловленным гидрогеологическими условиями водосбора.

Процессы формирования химического состава вод в различные фазы водного режима рассматривались разными исследователями. Согласно П.П. Воронкову, местный сток представляет собой воды, образующиеся из атмосферных осадков, выпавших на поверхность водосбора и сформировавших свой химический состав в процессе стекания в его пределах. При выпадении жидких осадков (или таянии снежного покрова) эти воды поступают в речное русло по различным стоковым ярусам. Различают следующие генетические категории вод: поверхностно-склоновые, почвенно-поверхностные, почвенно-грунтовые, грунтовые воды [9]. В природе отделить одну категорию от другой очень трудно. Периодическое преобладание на водосборе вод той или иной генетической категории обуславливает смену типов водного питания и внутригодовые изменения минерализации и химического состава русловых речных вод, что подтверждает важное теоретическое положение: гидрохимический режим малых рек отображает процесс смены в русловой сети вод различного происхождения.

На схеме (рис. 2.1) хорошо представлены существующие зависимости между химическим составом вод и их происхождением. Эта схема позволяет использовать показатели химического состава воды для расчленения годового гидрографа и выделения отдельных составляющих местного стока [9].

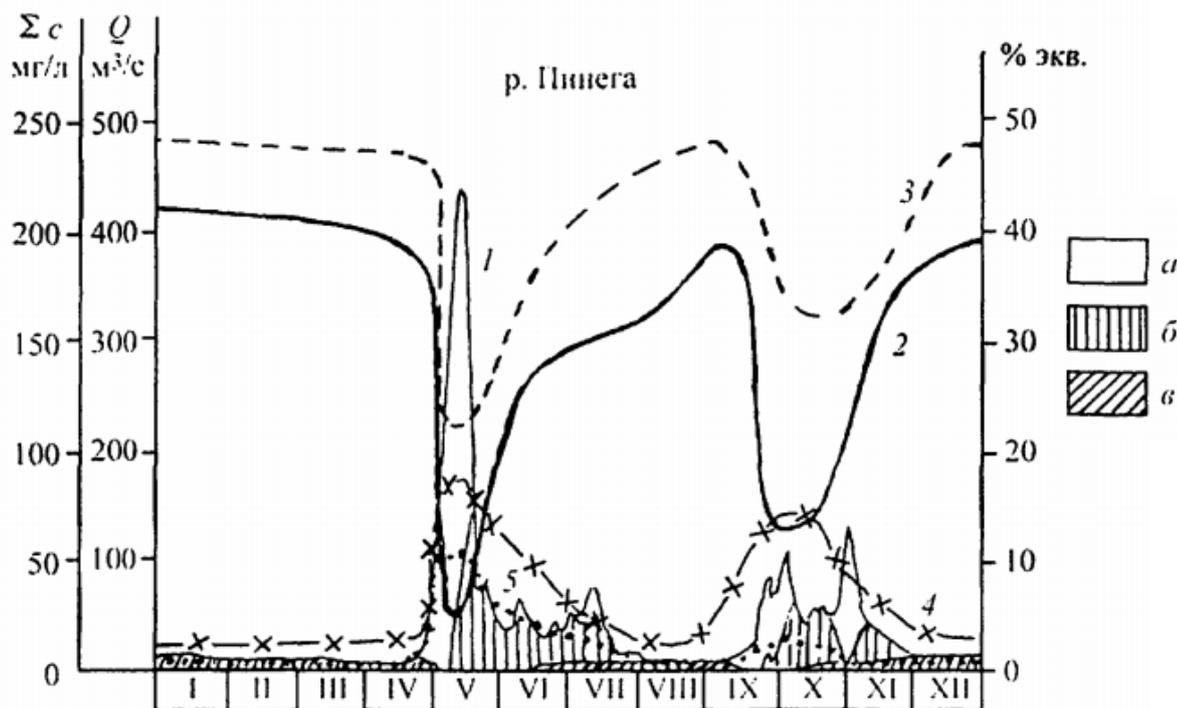


Рисунок 0.5 Схема выделения генетических категорий вод местного стока путем расчленения гидрографа и характеристики их химического состава. По Б.Г. Скакальскому. 1 – расход воды в реке, 2 – минерализация воды, 3 –  $\text{HCO}_3^-$ , 4 –  $\text{SO}_4^{2-}$ , 5 –  $\text{Cl}^-$ , а – воды склонового происхождения, б – почвенно-грунтового, в – грунтового [9]

По классификации О.А. Алекина исследованные реки относятся к восточноевропейскому гидрокарбонатному типу, валдайскому подтипу. Восточноевропейский гидрохимический тип рек характеризуется минимальной минерализацией во время весеннего половодья и максимальной в период зимней межени. Максимальные значения общей минерализации превышают минимальные в 3–8 раз.

В питании рек валдайского подтипа преобладают талые воды (более 50% от общего годового стока). Водный режим характеризуется высоким весенним половодьем, летней меженью, прерываемой дождевыми паводками и более низкой зимней меженью. Избыточное увлажнение, подзолистые, дерново-подзолистые почвы и хорошо промытые от легкорастворимых солей породы обуславливают малую (до  $10 \text{ мг/дм}^3$ )

минерализацию в период половодья. В период межени подземные воды обеспечивают минерализацию до 400–500 мг/дм<sup>3</sup>, в отдельные годы до 1 100 мг/дм<sup>3</sup>.

Немаловажным фактором является наличие озера в истоке реки: оно играет роль естественного регулятора и амортизатора стока, как в гидрологическом, так и в гидрохимическом плане. Гидрохимический режим озера определяется рядом факторов, из которых ведущее значение имеют его размеры, площадь, глубина и конфигурация. По химическому составу подавляющее большинство пресных озер являются гидрокарбонатными кальциевыми по классификации О.А. Алекина.

### 3 Гидрологические приложения результатов гидрохимического мониторинга рек

Для достижения цели исследования необходимо понять закономерности и выявить особенности гидрологического и гидрохимического режимов изучаемых рек, а также оценить степень влияния на них ландшафтов водосборов. Для этого нужно выполнить ряд задач:

- собрать гидрологические и гидрохимические данные;
- выполнить математико-статистический анализ исходных данных;
- проанализировать зависимости ионного состава и минерализации вод рек от водности, генезиса стока, ландшафтных особенностей водосборов и интерпретировать результаты анализа с точки зрения гидролога;
- оценить возможность восстановления значений расходов по значениям минерализации с использованием зависимостей  $C=f(Q)$ .

Мониторинг поверхностных водных объектов, расположенных в Ленинградской, Новгородской и Псковской областях, осуществляют подразделения ФГБУ «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (СЗУГМС) Росгидромета. Сеть мониторинга водных объектов изменяется в зависимости от потребностей и объективных причин.

#### 3.1 Исходные данные: обоснование выбора и основные методы обработки

В работе были изучены семь малых рек с площадями водосборов от 504 км<sup>2</sup> до 1440 км<sup>2</sup> – Тигода, Кересть, Полисть, Плюсса, Исса, Желча и Резекне. Используются следующие исходные данные: гидрографические характеристики рек и их водосборов, значения среднегодовых расходов

воды, результаты анализа проб воды и значения расходов, измеренных в момент отбора проб (Приложение А). Все данные получены в ходе гидрологического и гидрохимического мониторинга на постах Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации (Росгидромет).

Таблица 3.1 Характеристики водосборов

Река-Пункт	Расстояние от истока, км	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Озёрность, %	Заболоченность водосбора, %	Залесенность водосбора, %	Доля стока весеннего половодья, %	Норма стока, м <sup>3</sup> /с
р. Кереть – дер. Сябреницы	73	833	<1	7	75	66	5,08
р. Тигода – пос. Любань	57	589	<1	14	74	60	4,07
р. Полисть – дер. Коробинец	48,3	1160	5	26	46	47	6,52
р. Исса – дер. Визги	133	1410	1	4	53	52	8,69
р. Резекне – дер. Гришканы	45	504	12	5	10	39	2,63
р. Желча – пос. Ямм	70	1220	1	8	74	38	6,01
р. Плюсса – Д. Плюсса	54	1440	1	16	52	54	10,6

Территория климатически и геологически однородна, но ландшафты водосборов и характер питания рек разнообразны. Это обуславливает некоторые особенности внутригодовой неравномерности стока, выражаемые в различной естественной зарегулированности стока (коэффициент естественной зарегулированности  $\phi$  определен ранее О.А. Янковской в магистерской диссертации [10]) и изменении доли объема

весеннего половодья в годовом стоке. Смена вод различных генетических категорий в русловой сети определяет гидрохимический режим малых рек.

На водосборах малых рек обеспечивается одновременное развитие главных фаз весеннего половодья и несмешиваемость вод различного генезиса. Химический состав вод местного стока закономерно отражает, прежде всего, характер общих условий той физико-географической зоны, в которой расположен данный водосбор. Поэтому рассмотрение определенных черт химического состава речных вод, обусловленных воздействием зональных физико-географических факторов, представляет интерес [1].

Для выявления связи между гидрологическими и гидрохимическими характеристиками рек в Excel построены зависимости значений показателей химического состава  $C=f(Q)$  и минерализации  $\Sigma_{и}= f(Q)$  от расходов воды на момент отбора проб. Связь считается надёжной, если коэффициент детерминации  $R^2$  больше или равен 0,49.

Для оценки гидрохимического режима рек был выбран период с максимальным количеством наблюдений на сети в течение года. Таким периодом оказались 1946–1987 гг. (в исходных данных представлены не все года из указанного диапазона). Максимальное количество проб было отобрано на р. Кереть (101 проба), минимальное на р. Плюсса (38 проб) (табл. 3.2).

Исследования гидрохимического режима рек проводились, главным образом, по значениям общей минерализации и концентраций главных ионов.

Таблица 3.2 Гидрохимическая изученность исследуемых рек.

Река–пункт	Годы	Общее количество лет	Общее количество проб	Годы с наибольшим количеством проб, год (количество проб)
1	2	3	4	5
р. Кересть – дер. Сябраницы	1946, 1954–1958, 1959, 1961–1963, 1964, 1965, 1966, 1967, 1968, 1969, 1971, 1972, 1973, 1975, 1986, 1987	22	101	1956 (7), 1958 (7), 1959 (7), 1962 (7), 1963 (7), 1966 (7), 1967 (7)
р. Тигода – пос. Любань	1946, 1954–1956, 1961–1963, 1964, 1965, 1966, 1967, 1968, 1969, 1971, 1972, 1973, 1986, 1987	19	51	1954 (4), 1955 (4), 1961 (4), 1975 (4), 1986 (4), 1987 (4)
р. Полисть – дер. Коробинец	1954–1958, 1959, 1961, 1962, 1963, 1964, 1965, 1966, 1967, 1968, 1969	15	63	1956 (6), 1958 (6), 1959 (6), 1962 (7), 1965 (6), 1966 (7), 1967 (7)
р. Исса – дер. Визги	1954–1958, 1959, 1961, 1962, 1963, 1964, 1966–1969, 1967	13	47	1955 (6), 1957 (6), 1958 (6), 1959 (6), 1961 (6)
р. Резекне – дер. Гришканы	1955, 1957–1959, 1965, 1967–1975	14	85	1965 (12), 1967 (8), 1968 (7)
р. Желча – пос. Ямм	1955, 1956, 1961, 1963, 2007–2014	12	46	2007–2014 (4)
р. Плюсса – д. Плюсса	1955, 1956, 1961, 1962, 1963, 1964, 1965, 1966, 1967, 1968, 1969	11	38	1961 (6), 1965 (12)

### 3.2 Река Кересть

Оценка гидрохимического режима р. Кересть проводилась по результатам анализов воды за период 1946, 1954–1959, 1961–1969, 1971–1973, 1975, 1986, 1987 гг. Количество проб в течение года изменяется от 2 до 7. Среднестатистические значения показателей представлены в таблице 3.3. Исходные данные находятся в Приложении А.

Таблица 3.3 Среднестатистические характеристики измеренных величин

Показатель	Число проб	Коэффициент вариации $C_v$	Характерные значения		
			Среднее	Максимальное	Минимальное
Цветность, гр	93	0,50	206,4	680	60
$Ca^{2+}$ , мг/дм <sup>3</sup>	95	0,84	28,22	142,3	7,2
$Mg^{2+}$ , мг/дм <sup>3</sup>	95	1,21	6,73	46,6	0,4
$Na^+ + K^+$ , мг/дм <sup>3</sup>	63	1,37	20,10	120	0,2
$HCO_3^-$ , мг/дм <sup>3</sup>	95	0,98	83,12	403,3	15,2
$SO_4^{2-}$ , мг/дм <sup>3</sup>	95	1,19	15,99	108,4	0,9
$Cl^-$ , мг/дм <sup>3</sup>	95	1,52	27,10	243,2	0,7
$NO_3^-$ , мг/дм <sup>3</sup>	76	2,10	1,15	15	0,004
$NO_2^-$ , мг/дм <sup>3</sup>	25	1,46	0,06	0,35	0,004
Общая минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	95	1,07	170,36	1063,8	33,6

Согласно классификации А.О. Алекина, воды р. Кересть можно отнести к водам малой минерализации гидрокарбонатно-кальциевого типа. Наибольшая изменчивость характерна для нитратов и хлоридов, наименьшая для кальция и цветности. Для вод р. Кересть характерны

высокие значения цветности и биогенных элементов. В целом по приведенным в таблице 3.3 показателям воды р. Кересть соответствуют СанПиН 2.1.4.1074–01, однако показатель цветность превышает ПДК даже при своем минимальном значении. Это связано с высоким поступлением гумусовых веществ из болот, находящихся на водосборе.

Следовательно, по показателям цветности, окисляемости и других репрезентативных элементов можно судить о гидрографических характеристиках водосбора.

Была исследована связь между значениями каждого показателя и измеренным в момент отбора пробы расходом воды. Результаты представлены на рисунках 3.1–3.7.

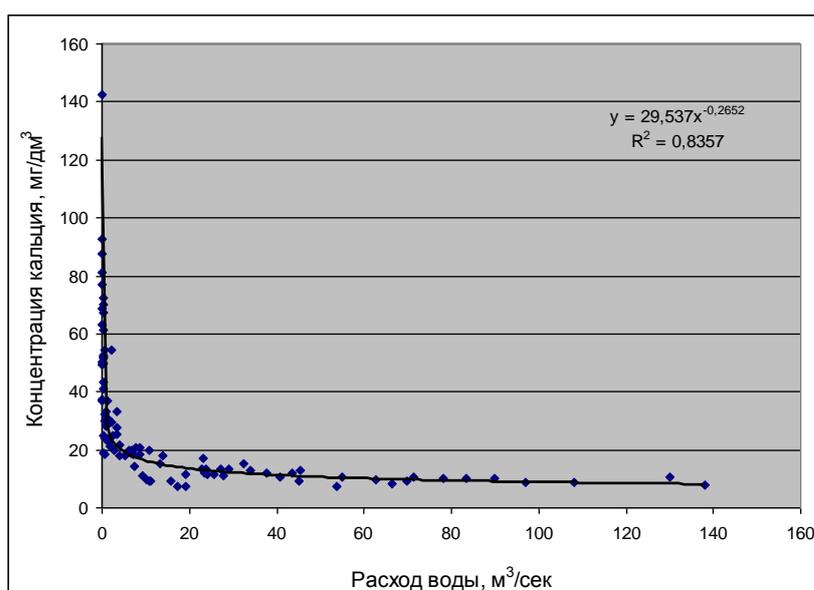


Рисунок 3.1 Зависимость концентрации  $\text{Ca}^{2+}$  от расхода воды, р. Кересть

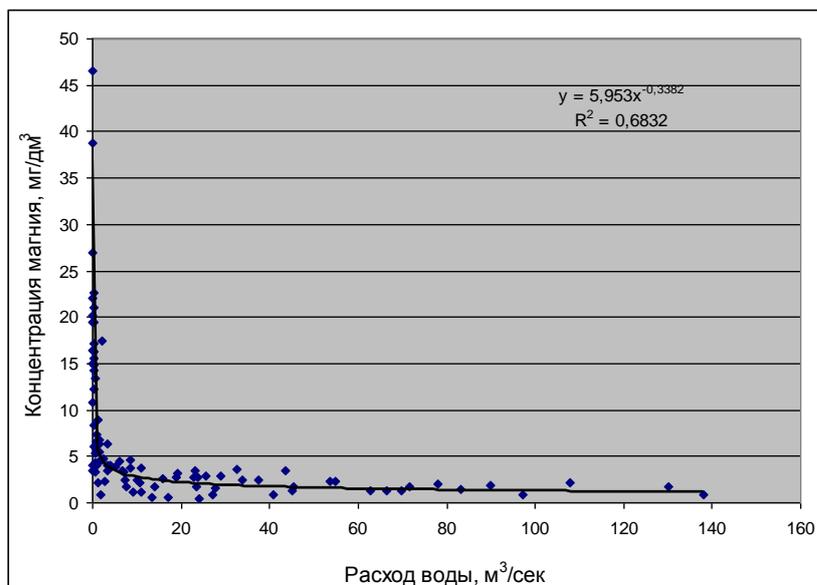


Рисунок 3.2 Зависимость концентрации  $Mg^{2+}$  от расхода воды, р. Кересть

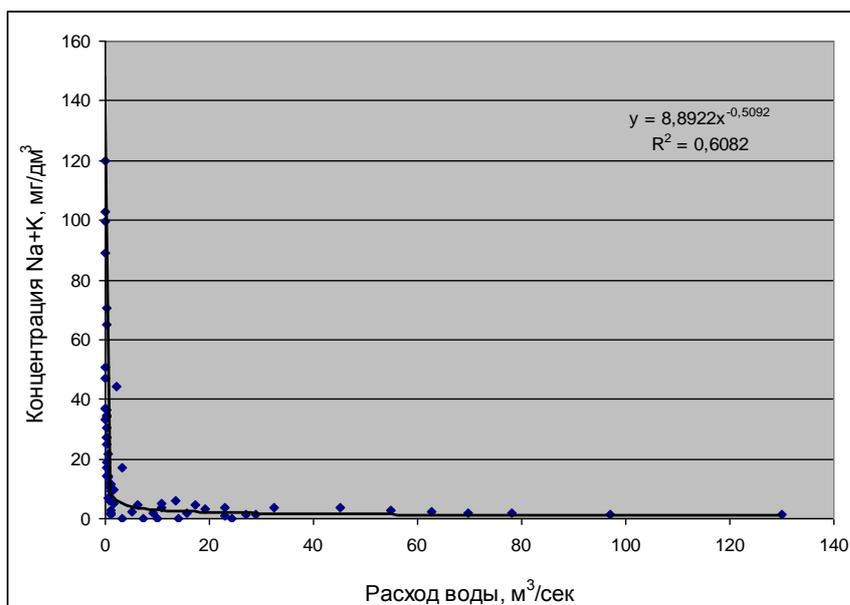


Рисунок 3.3 Зависимость концентрации  $Na^+$  и  $K^+$  от расхода воды, р. Кересть

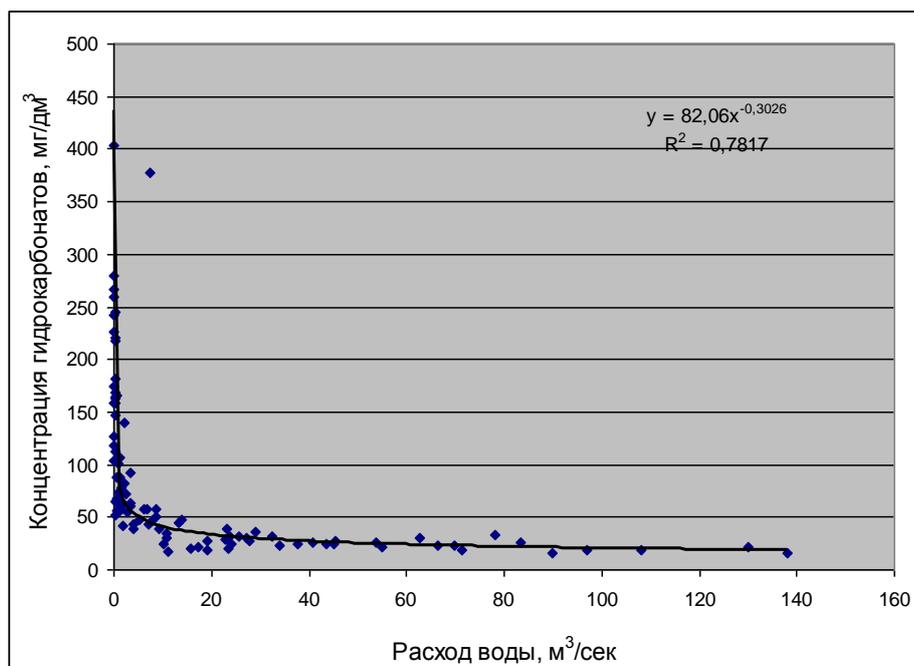


Рисунок 3.4 Зависимость концентрации  $\text{HCO}_3^-$  от расхода воды, р. Кереть

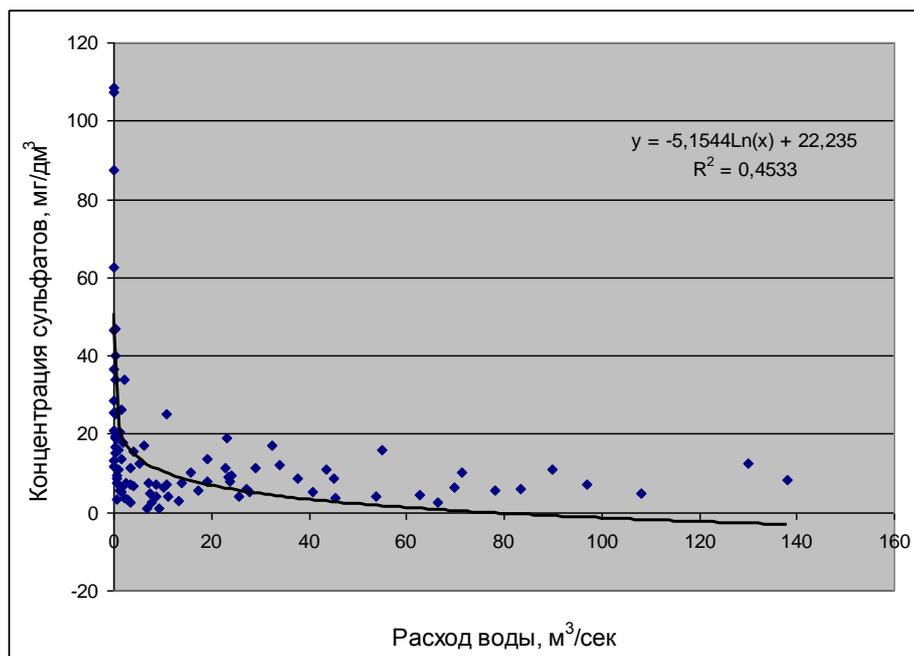


Рисунок 3.5 Зависимость концентрации  $\text{SO}_4^{2-}$  от расхода воды, р. Кереть

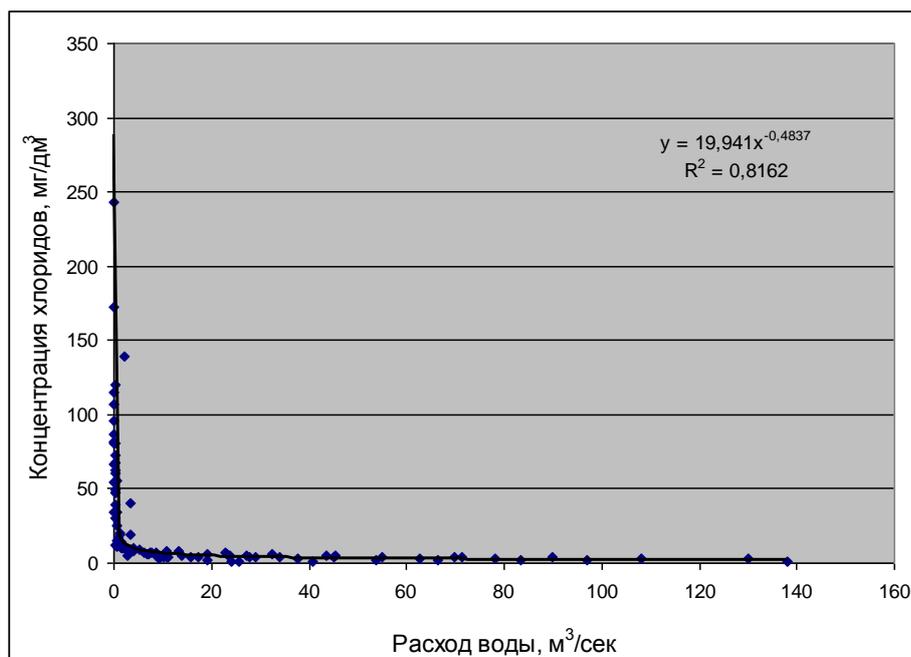


Рисунок 3.6 Зависимость концентрации  $\text{Cl}^-$  от расхода воды, р. Кересть

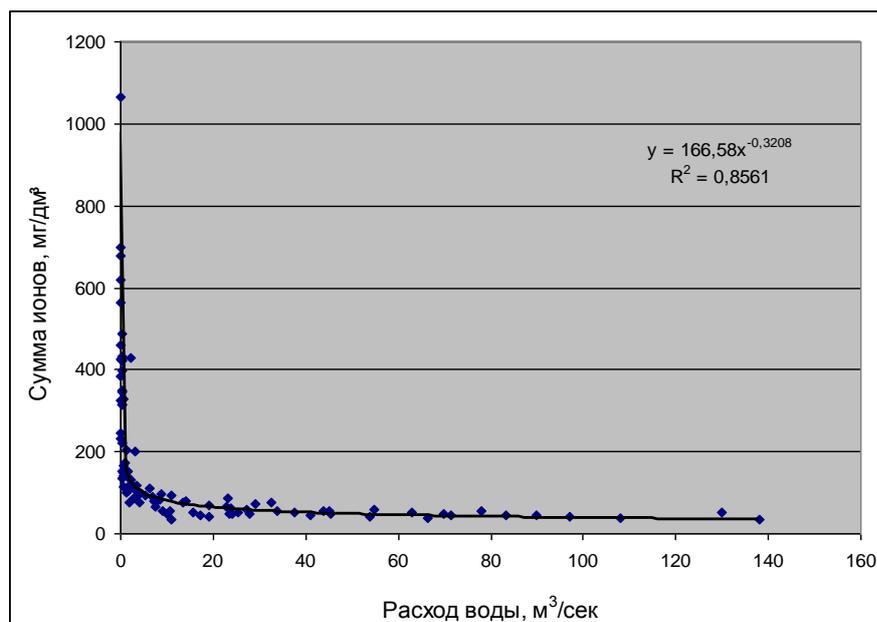


Рисунок 3.7 Зависимость общей минерализации от расхода воды, р. Кересть

Анализируя представленные на рисунках 3.1–3.7 зависимости, можно сделать вывод о том, что наибольшей изменчивостью под влиянием водности р. Кересть характеризуются кальций ( $R^2 = 0,84$ ), хлориды ( $R^2 = 0,82$ ), гидрокарбонаты ( $R^2=0,78$ ), магний ( $R^2 = 0,68$ ), ионы натрий+кальций

( $R^2 = 0,61$ ), а так же общая минерализация ( $R^2 = 0,86$ ). Максимальные значения данных показателей наблюдаются в периоды межени, когда питание осуществляется за счет высоко минерализованных почвенно-грунтовых вод. Минимальные значения характерны для пика весеннего половодья, поскольку сток талых вод обеспечивает многократное разбавление. Концентрация нитратов и нитритов в воде р. Кереть не зависит от водности.

Водный режим р. Кереть был подробно исследован в [10]. Он характеризуется невысокой естественной зарегулированностью. Максимальный коэффициент зарегулированности стока составляет 0,55, минимальный – 0,17, среднее значение составляет 0,36. Среднее значение доли подземного питания в стоке за год составляет 0,23, а поверхностного – 0,77. В результате концентрации главных ионов и значение общей минерализации существенно зависит от водности реки. Их изменчивость в течение года высокая. Коэффициент вариации общей минерализации составляет 1,14.

Таким образом, по данным гидрохимического мониторинга возможно оценить ландшафтные особенности водосбора и закономерности водного режима реки.

### 3.3 Река Тигода

Оценка гидрохимического режима р. Тигода проводилась по результатам анализов проб воды за 1946, 1954–1956, 1961–1969, 1971–1973, 1986, 1987 гг. Среднестатистические значения показателей представлены в таблице 3.6. Исходные данные находятся в Приложении А.

Таблица 3.4 Среднестатистические характеристики измеренных величин

Показатель	Количество проб, n	Коэффициент вариации $C_v$	Характерные значения		
			Среднее	Максимальное	Минимальное
Цветность, гр	48	0,56	135,94	436	16
$Ca^{2+}$ , мг/дм <sup>3</sup>	49	0,47	26,49	59,9	3,8
$Mg^{2+}$ , мг/дм <sup>3</sup>	49	0,54	9,24	20,4	0,1
$Na^+ + K^+$ , мг/дм <sup>3</sup>	44	0,79	17,14	60,2	0,001
$HCO_3^-$ , мг/дм <sup>3</sup>	49	0,54	104,29	211,1	11
$SO_4^{2-}$ , мг/дм <sup>3</sup>	48	0,50	10,67	30	1,8
$Cl^-$ , мг/дм <sup>3</sup>	49	0,67	22,08	57,4	0,5
$NO_3^-$ , мг/дм <sup>3</sup>	41	1,07	0,97	5	0,001
$NO_2^-$ , мг/дм <sup>3</sup>	24	0,97	0,12	0,53	0,001
Общая минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	49	0,52	187,27	382	25,7

Согласно классификации О.А. Алекина воды р. Тигода можно отнести к водам малой минерализации гидрокарбонатно-кальциевого типа.

Наибольшая изменчивость характерна для нитратов и нитритов, наименьшая для цветности, и общей минерализации, для которых характерны высокие значения.

В целом по приведённым в таблице 3.4 показателям воды р. Тигода соответствуют СанПиН 2.1.4.1074–01, однако показатели цветность и мутность периодически превышают ПДК. Это связано с высоким поступлением гумусовых веществ из болот, находящихся на водосборе.

Была исследована связь между значениями каждого показателя и измеренным в момент отбора пробы расходом воды. На рисунках 3.8–3.14 представлены полученные зависимости.

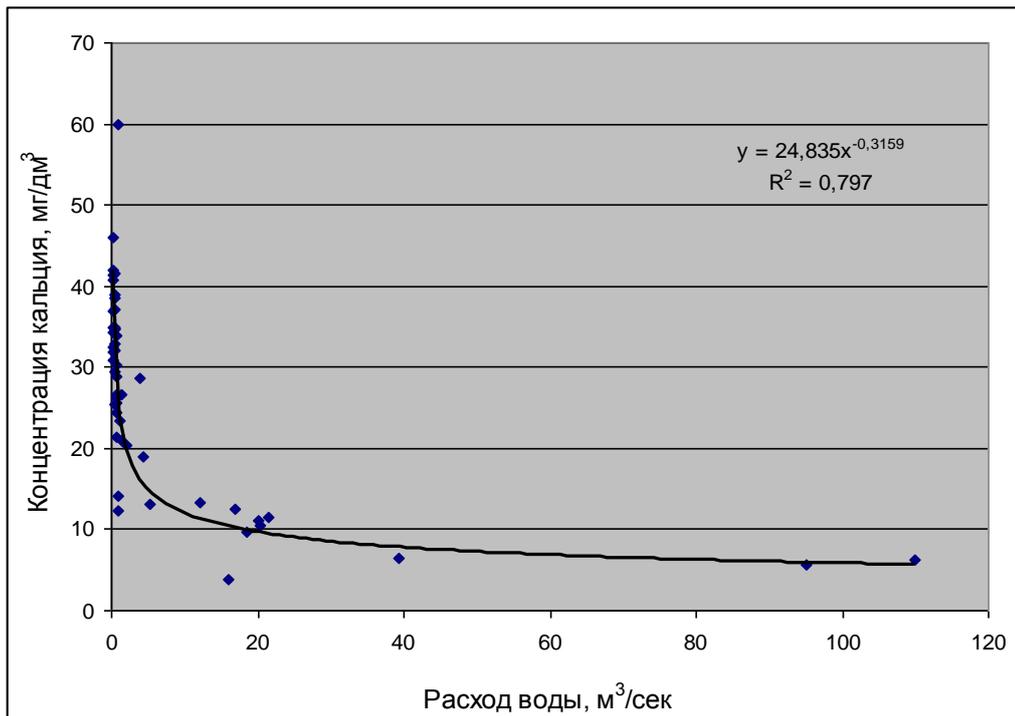


Рисунок 3.8 Зависимость концентрации  $\text{Ca}^{2+}$  от расхода воды, р. Тигода

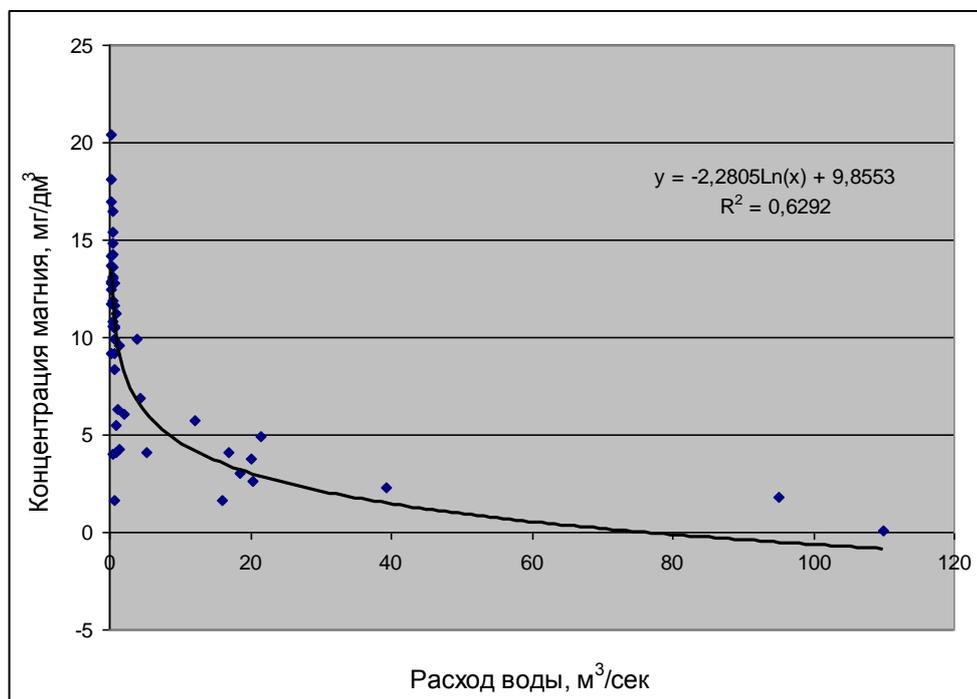


Рисунок 3.9 Зависимость концентрации  $\text{Mg}^{2+}$  от расхода воды, р. Тигода

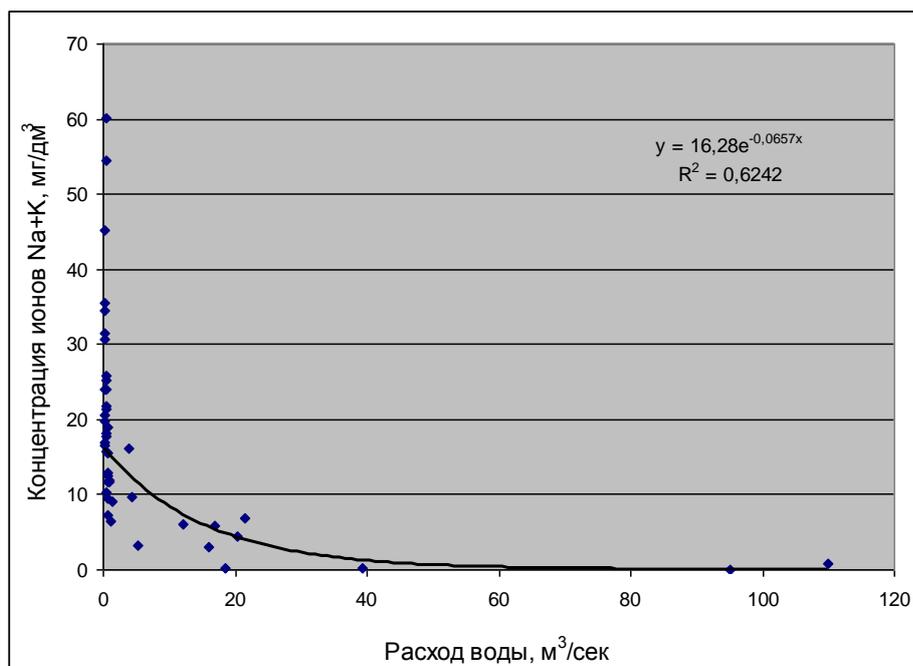


Рисунок 3.10 Зависимость концентрации  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$  от расхода воды, р. Тигода

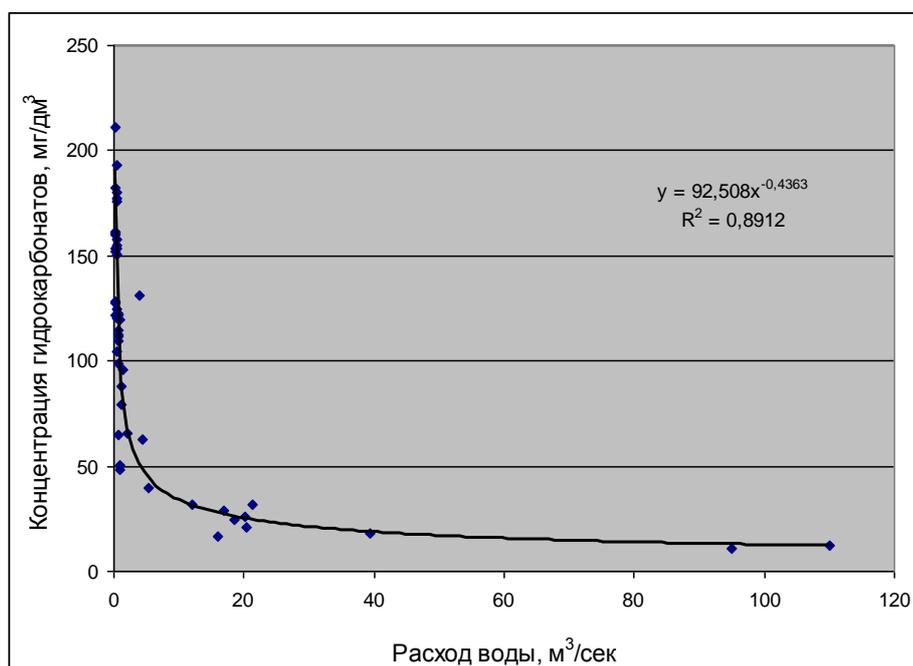


Рисунок 3.11 Зависимость концентрации  $\text{HCO}_3^-$  от расхода воды, р. Тигода

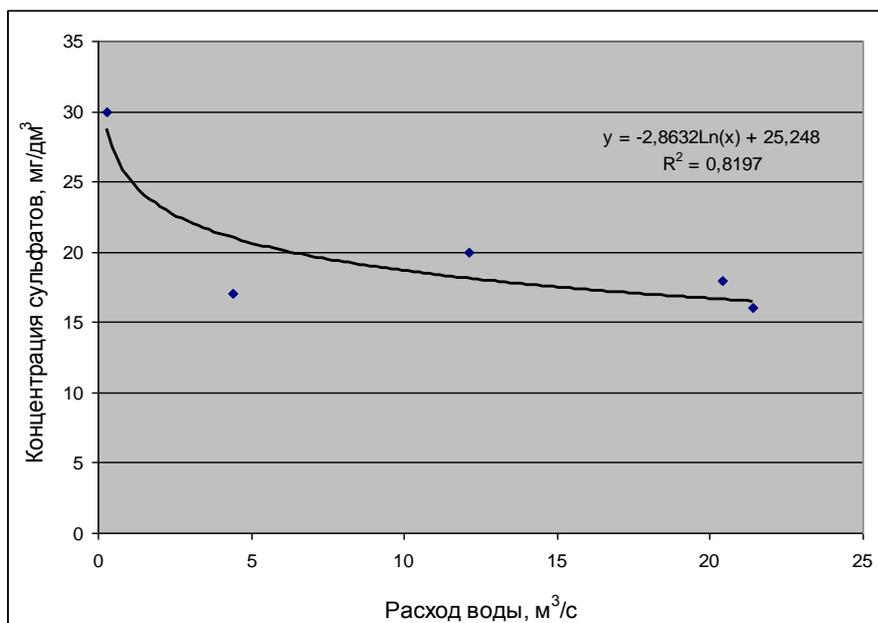


Рисунок 3.12 Зависимость концентрации  $\text{SO}_4^{2-}$  от расхода воды, р. Тигода

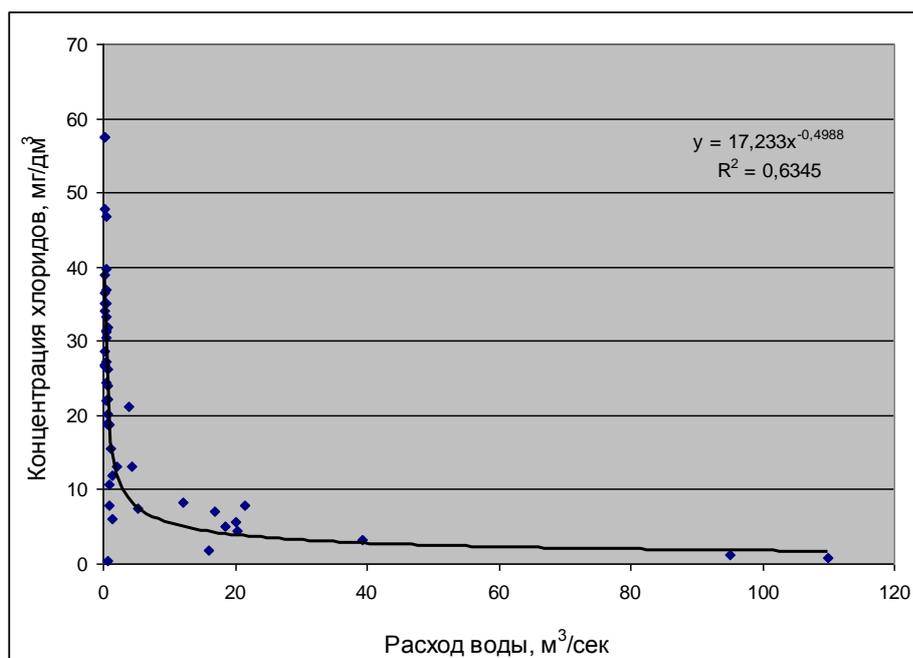


Рисунок 3.13 Зависимость концентрации  $\text{Cl}^-$  от расхода воды, р. Тигода

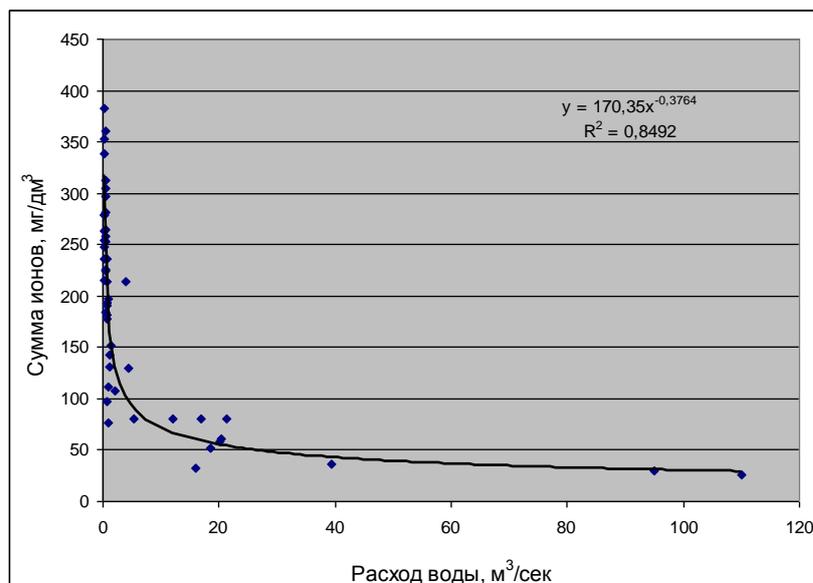


Рисунок 3.14 Зависимость общей минерализации от расхода воды, р. Тигода

Анализируя представленные на рисунках 3.8–3.14 зависимости можно сделать вывод о том, что наибольшей изменчивостью под влиянием водности р. Тигода обладают гидрокарбонаты ( $R^2 = 0,89$ ), кальций ( $R^2 = 0,78$ ), хлориды ( $R^2 = 0,63$ ), магний ( $R^2 = 0,63$ ), совокупность ионов натрий+калий ( $R^2 = 0,62$ ), сульфаты ( $R^2 = 0,82$ ), а так же общая минерализация ( $R^2 = 0,84$ ). Максимальные концентрации данных ионов наблюдаются в периоды межени, минимумы характерны для пика весеннего половодья. Концентрация нитратов и нитритов для р. Тигода не зависит от водности.

Водный режим р. Тигода был подробно исследован в [10]. Он характеризуется невысокой естественной зарегулированностью. Максимальный коэффициент зарегулированности стока составляет 0,54, минимальный – 0,27, среднее значение составляет 0,39. Среднее значение доли подземного питания в стоке за год составляет 0,36, а поверхностного – 0,64. В результате концентрации главных ионов и значение общей минерализации существенно зависит от водности реки. Их изменчивость в течение года высокая. Коэффициент вариации общей минерализации составляет 0,56.

Таким образом, по данным гидрохимического мониторинга возможно оценить ландшафтные особенности водосбора и закономерности водного режима реки.

### 3.4 Река Полисть

Оценка гидрохимического режима р. Полисть проводилась по результатам анализов проб воды за 1954–1958, 1959, 1961, 1962, 1963, 1964, 1965, 1966, 1967, 1968, 1969 гг.

Среднестатистические значения гидрохимических показателей представлены в таблице 3.5. Исходные данные находятся в Приложении А.

Таблица 3.5 Среднестатистические характеристики измеренных величин

Показатель	Количество проб, n	Коэффициент вариации Cv	Характерные значения		
			Среднее	Максимальное	Минимальное
Цветность, гр	62	0,31	182,14	360	96
Ca <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	63	0,29	6,95	11,4	2,8
Mg <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	62	0,44	1,36	3,2	0,4
Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	17	0,88	1,67	5	0,2
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	63	0,50	12,97	26,8	0,6
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	62	0,47	5,29	10	2
Cl <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	62	0,59	2,81	9,4	0,4
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	39	0,93	0,40	1,25	0,02
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	13	1,18	0,02	0,061	0,001
Общая минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	62	0,33	29,53	52,5	10,6

Согласно классификации Алекина О.А. воды р. Полисть можно отнести к водам очень малой минерализации гидрокарбонатно-кальциевого типа.

Наибольшая изменчивость характерна для нитратов и нитратов, наименьшая для цветности, кальция и общей минерализации. В целом по указанным в таблице 3.5 показателям воды р. Полисть соответствуют СанПиН 2.1.4.1074–01 за исключением показателя цветность. Высокая цветность вод обуславливается высоким процентом заболоченности (26%). Так же для р. Полисть характерна ультранизкая минерализация.

Была исследована связь между значениями каждого показателя и измеренным в момент отбора пробы расходом воды. На рисунках 3.15–3.23 представлены полученные зависимости.

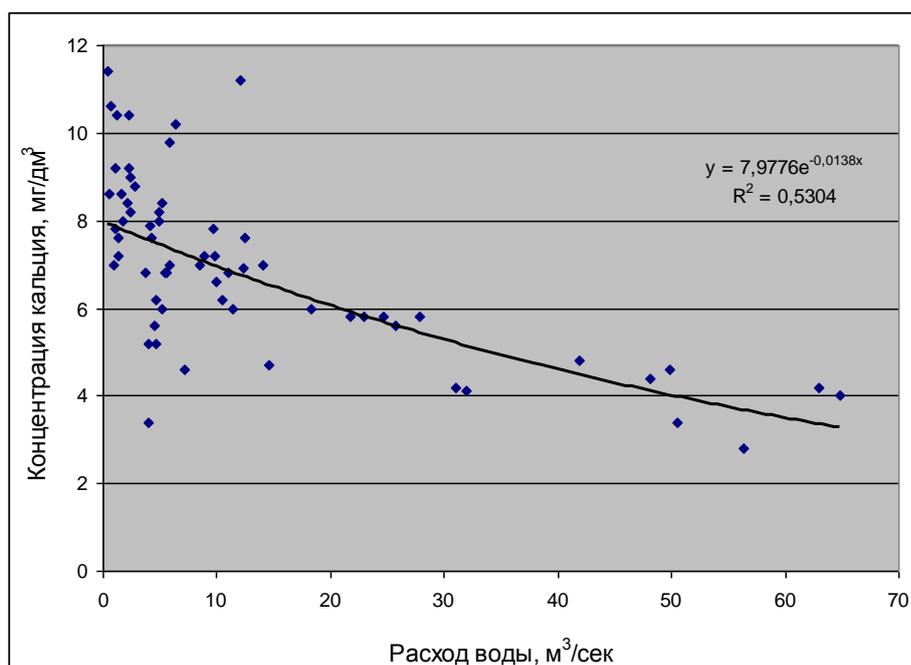


Рисунок 3.15 Зависимость концентрации  $\text{Ca}^{2+}$  от расхода воды, р. Полисть

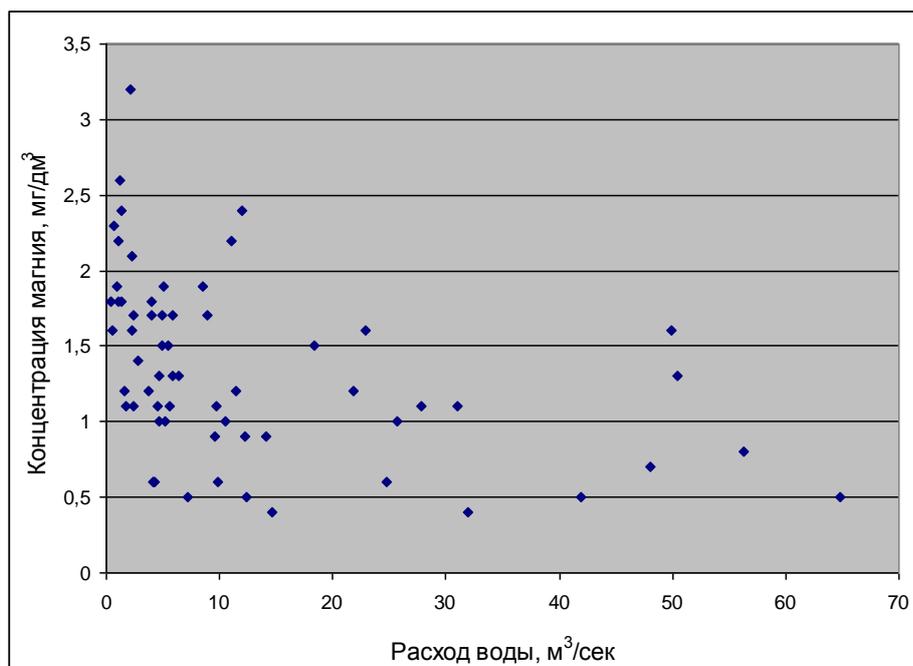


Рисунок 3.16 Зависимость концентрации  $Mg^{2+}$  от расхода воды, р. Полисть

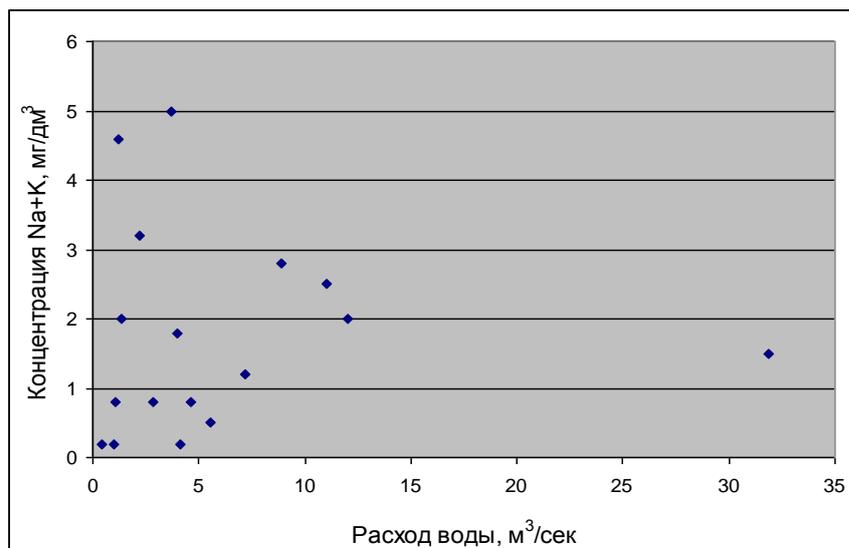


Рисунок 3.17 Зависимость концентрации  $Na^+$  и  $K^+$  от расхода воды, р. Полисть

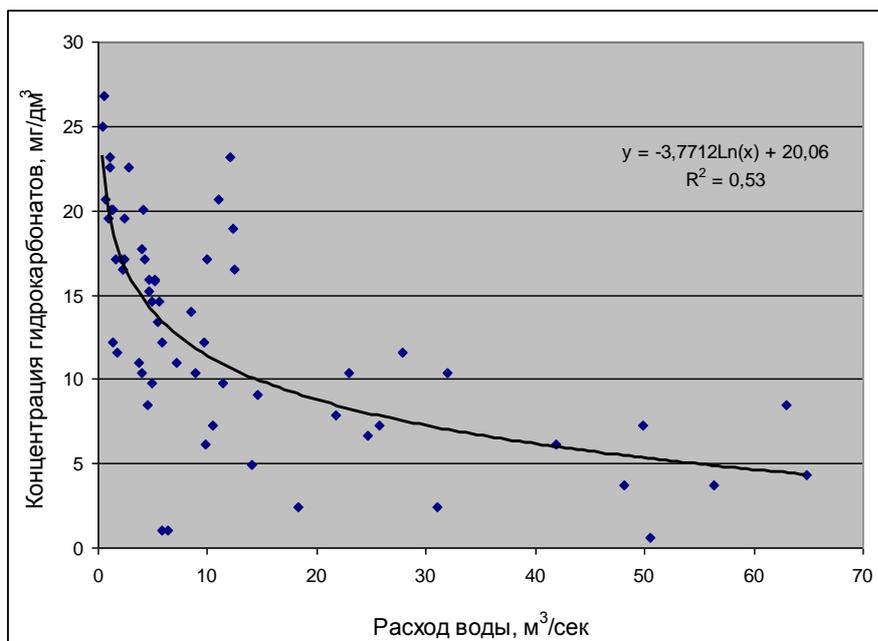


Рисунок 3.18 Зависимость концентрации  $\text{HCO}_3^-$  от расхода воды, р.

Полисть

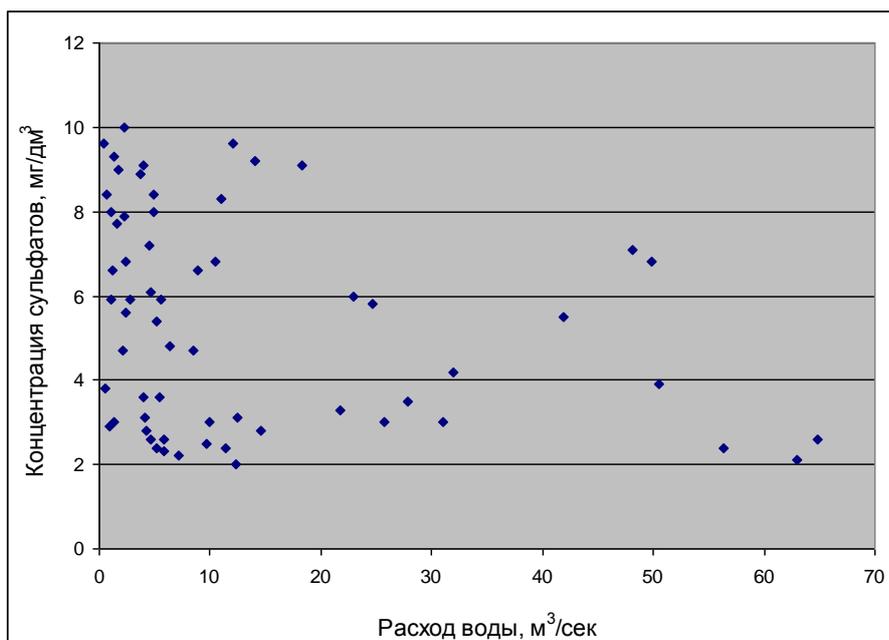


Рисунок 3.19 Зависимость концентрации  $\text{SO}_4^{2-}$  от расхода воды, р. Полисть

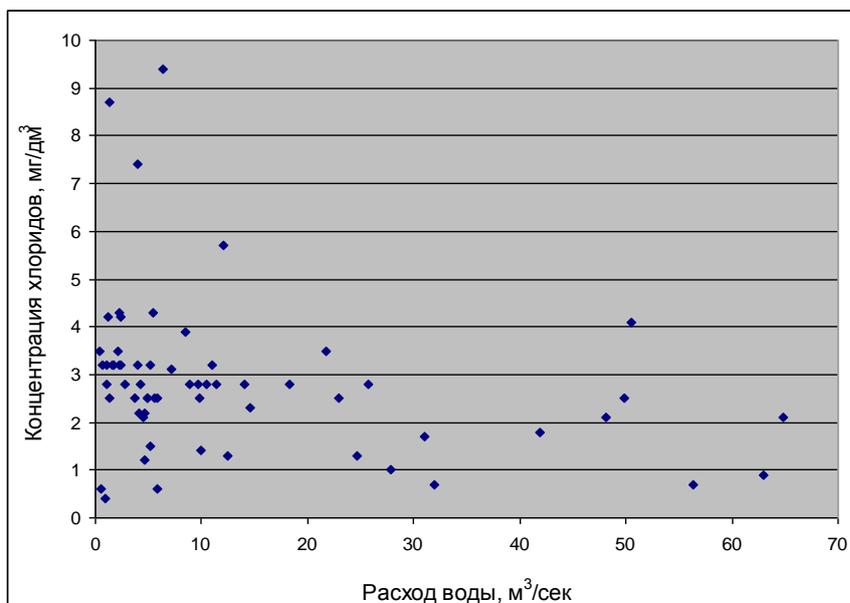


Рисунок 3.20 Зависимость концентрации  $\text{Cl}^-$  от расхода воды, р. Полисть

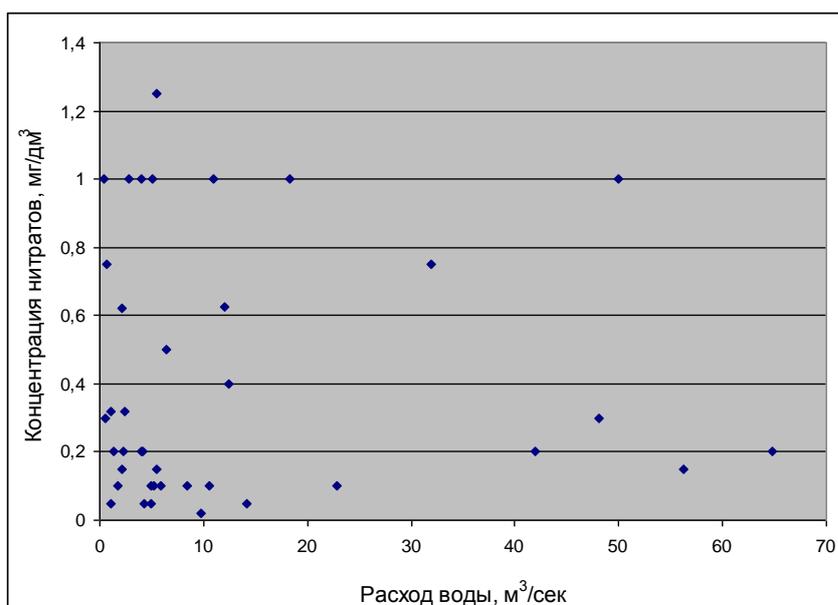


Рисунок 3.21 Зависимость концентрации  $\text{NO}_3^-$  от расхода воды, р. Полисть

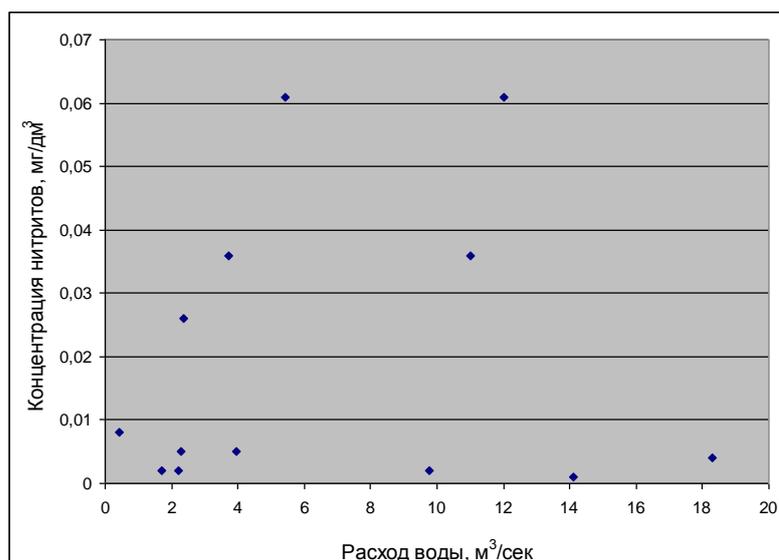


Рисунок 3.22 Зависимость концентрации  $\text{NO}_2^-$  от расхода воды, р. Полисть

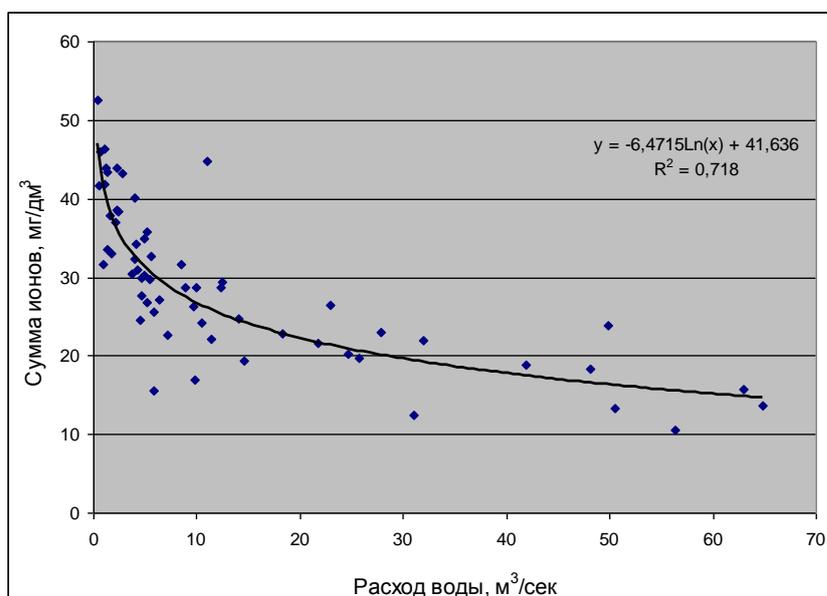


Рисунок 3.23 Зависимость общей минерализации от расхода воды, р. Полисть

Анализируя представленные на рисунках 3.15–3.23 зависимости можно сделать вывод о том, что наибольшей изменчивостью под влиянием водности р. Полисть обладают кальций ( $R^2 = 0,53$ ), гидрокарбонаты ( $R^2 = 0,53$ ) и общая минерализация ( $R^2 = 0,72$ ).

Кальций поступает вместе с талыми водами во время весеннего половодья. Слабая связь между водностью и этими параметрами и

отсутствие надежной связи между остальными показателями объясняется высокими значениями озерности (5 %), заболоченности (26 %) и высоким значением коэффициента естественной зарегулированности реки (0,64).

Водный режим р. Полисть был подробно исследован в [10]. Он характеризуется высокой естественной зарегулированностью. Максимальный коэффициент зарегулированности стока составляет 0,78, минимальный – 0,48, среднее значение составляет 0,64. Среднее значение доли подземного питания в стоке за год составляет 0,41, а поверхностного – 0,59. В результате концентрации главных ионов и значение общей минерализации существенно зависит от водности реки. Их изменчивость в течение года высокая. Коэффициент вариации общей минерализации составляет 0,35.

Таким образом, по данным гидрохимического мониторинга возможно оценить ландшафтные особенности водосбора и закономерности водного режима реки.

### 3.5 Река Исса

Оценка гидрохимического режима р. Исса проводилась по результатам анализов проб воды за 1954–1959, 1961–1969. Среднестатистические значения показателей представлены в таблице 3.6. Исходные данные находятся в Приложении А.

Таблица 3.6 Среднестатистические характеристики измеренных величин

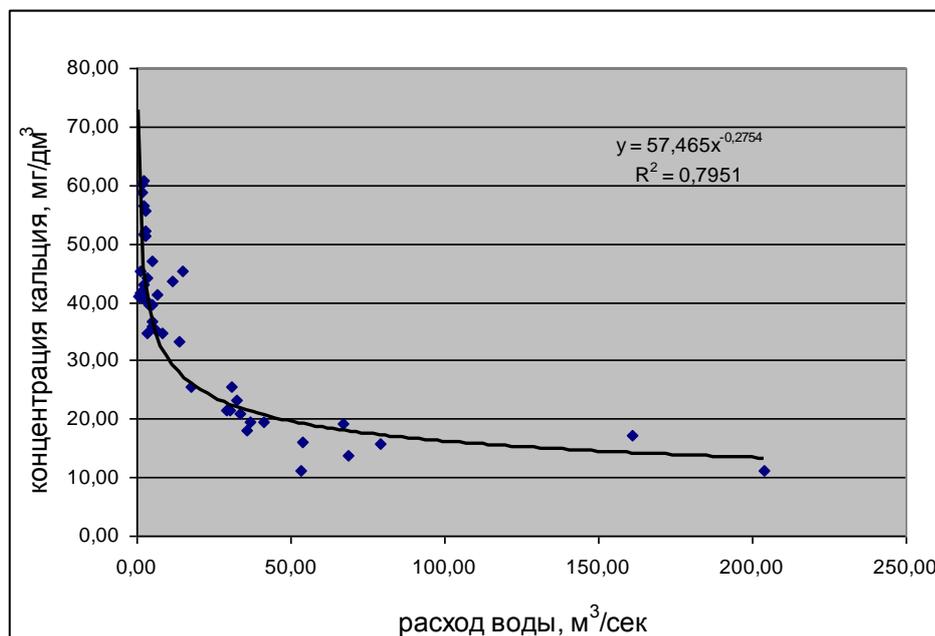
Показатель	Количество проб, n	Коэффициент вариации $C_v$	Характерные значения		
			Среднее	Максимальное	Минимальное
Цветность, гр	44	0,46	79,8	21	25
$Ca^{2+}$ , мг/дм <sup>3</sup>	45	0,40	35,41	60,70	11,10

Mg <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	45	0,50	8,84	17,8	2,2
Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	41	0,73	2,34	8	0,5
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	45	0,44	147,02	268,5	39,7
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	45	0,51	3,6	9,3	0,4
Cl <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	45	0,54	2,65	5,3	0,4
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	15	1,13	0,23	1	0,05
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	5	1,69	0,02	0,08	0,01
Общая минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	45	0,43	200,5	362,10	59,70

Согласно классификации О.А. Алекина воды р. Исса можно отнести к водам малой минерализации гидрокарбонатно-кальциевого типа.

Наибольшая изменчивость характерна для нитратов и нитратов, наименьшая для цветности, кальция и общей минерализации. Для вод р. Исса характерна высокая цветность и мутность.

Была исследована связь между значениями каждого показателя и измеренным в момент отбора пробы расходом воды. На рисунках 3.24–3.27 представлены полученные зависимости.





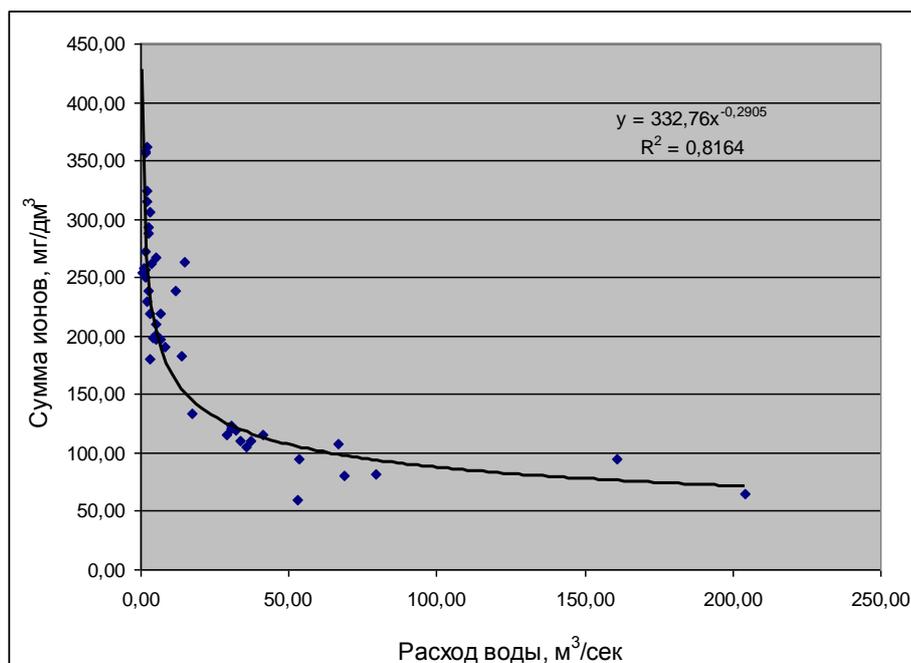


Рисунок 3.27 Зависимость общей минерализации от расхода воды, р. Исса

Анализируя представленные на рисунках 3.24–3.27 зависимости можно сделать вывод о том, что наибольшей изменчивостью под влиянием водности р. Исса характеризуются магний ( $R^2 = 0,84$ ) кальций ( $R^2 = 0,80$ ), гидрокарбонаты ( $R^2=0,81$ ), а так же общая минерализация ( $R^2 = 0,82$ ). Максимальные концентрации данных ионов наблюдаются в периоды межени, минимумы характерны для пика весеннего половодья.

Концентрация ионов совокупности натрий+калий, сульфатов, хлоридов, нитратов и нитритов для р. Исса не зависит от водности.

Эти зависимости определяются ландшафтными условиями водосбора. Среднегодовое значение коэффициента естественной зарегулированности р. Исса составляет 0,53. при небольшом значении озерности (1 %) и заболоченности (4 %). Наличие связи между водностью, гидрокарбонатами и ионами кальция и магния обусловлены преобладанием подзолистых почв на водосборе.

Водный режим р. Исса был подробно исследован в [10]. Он характеризуется средней естественной зарегулированностью. Максимальный коэффициент зарегулированности стока составляет 0,67,

минимальный – 0,42, среднее значение составляет 0,53. Среднее значение доли подземного питания в стоке за год составляет 0,39, а поверхностного – 0,61. В результате концентрации главных ионов и значение общей минерализации существенно зависит от водности реки. Их изменчивость в течение года высокая. Коэффициент вариации общей минерализации составляет 0,45.

Таким образом, по данным гидрохимического мониторинга возможно оценить ландшафтные особенности водосбора и закономерности водного режима реки.

### 3.6 Река Резекне

Оценка гидрохимического режима р. Резекне проводилась по результатам анализов проб воды за 1955, 1957–1959, 1965, 1967–1975 гг.

Среднестатистические значения гидрохимических показателей представлены в таблице 3.7. Исходные данные находятся в Приложении А.

Согласно классификации О.А. Алекина воды р. Резекне можно отнести к водам средней минерализации гидрокарбонатно-кальциевого типа.

Наибольшая изменчивость характерна для нитритов и нитратов, наименьшая для гидрокарбонатов и общей минерализации. Для вод р. Резекне характерны средние значения минерализации

В целом по указанным в таблице 3.7 показателям воды р. Резекне соответствуют СанПиН 2.1.4.1074–01, однако показатель цветность периодически превышает установленную ПДК (20 градусов). Это связано с поступлением гумусовых веществ из болот, находящихся на водосборе.

Таблица 3.7 Среднестатистические характеристики измеренных величин

Показатель	Количество проб, n	Коэффициент вариации Cv	Характерные значения		
			Среднее	Максимальное	Минимальное
Цветность, гр	85	0,45	43,58	112	14
Ca <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	85	0,28	44,64	72,1	20,4
Mg <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	85	0,33	11,24	19,5	3,8
Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	81	0,86	7,37	26,5	0,3
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	85	0,29	166,65	280,7	77,5
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	85	0,47	14,62	29,5	2,9
Cl <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	85	0,79	10,55	38,6	0,4
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	80	1,25	2,06	12,5	0,02
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	74	2,26	0,11	2	0,001
Общая минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	85	0,29	261,82	449,3	110,3

Была исследована связь между значениями каждого показателя и измеренным в момент отбора пробы расходом воды. На рисунках 3.28–3.31 представлены полученные зависимости.

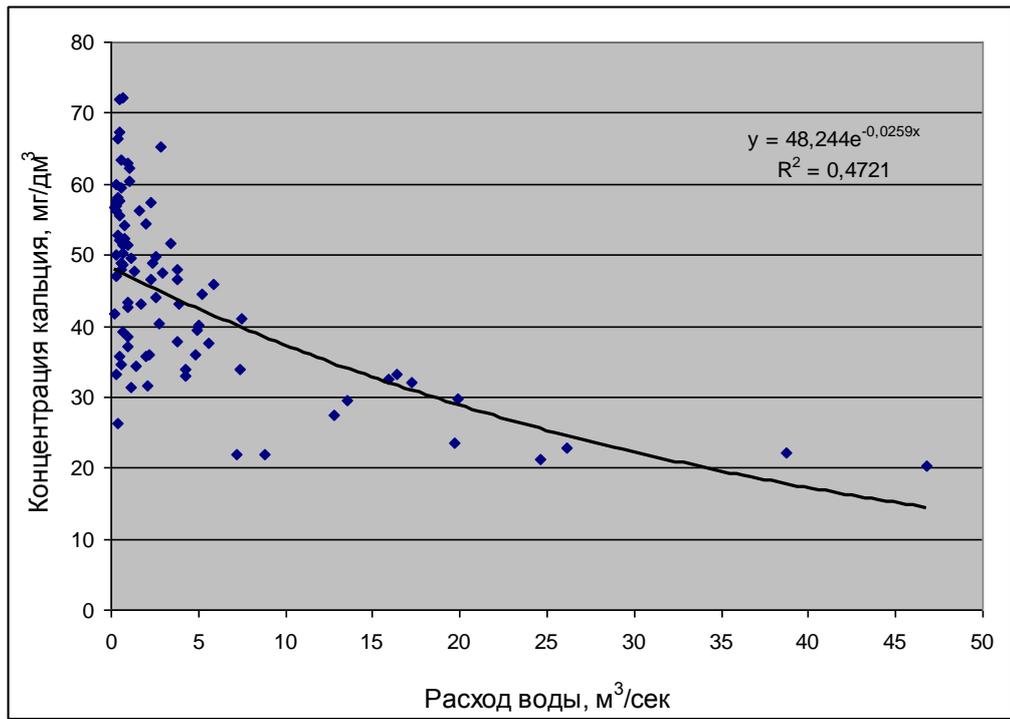


Рисунок 3.28 Зависимость концентрации  $\text{Ca}^{2+}$  от расхода воды, р. Резекне

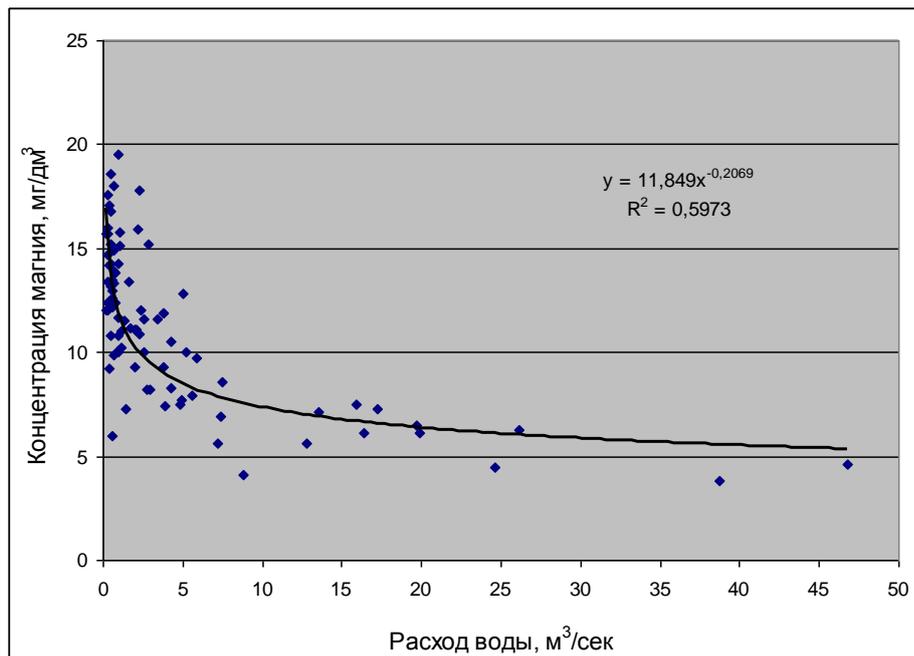


Рисунок 3.29 Зависимость концентрации  $\text{Mg}^{2+}$  от расхода воды, р. Резекне

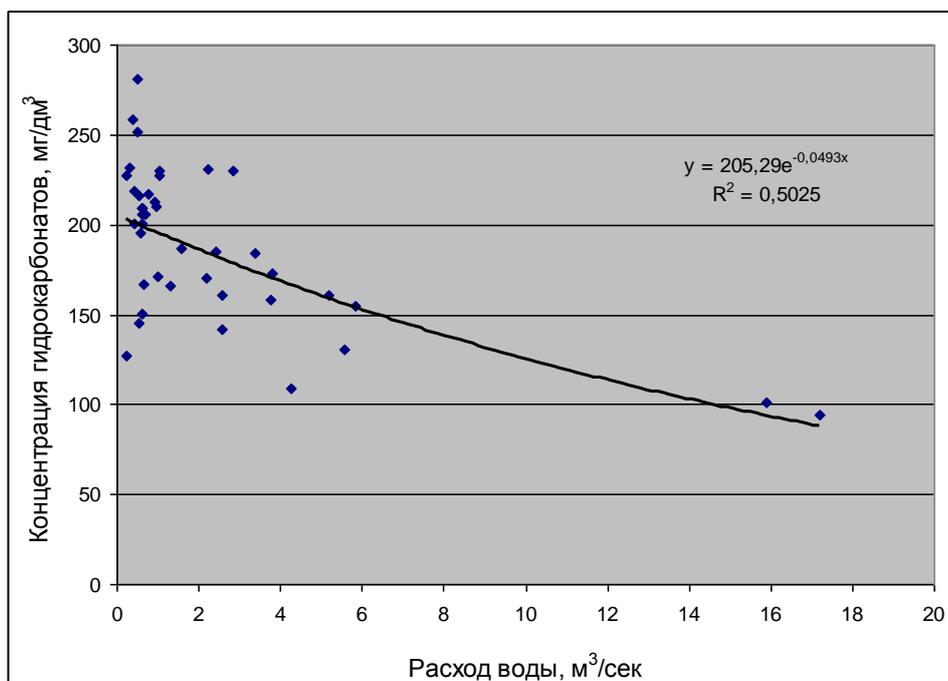


Рисунок 3.30 Зависимость концентрации  $\text{HCO}_3^-$  от расхода воды, р. Резекне

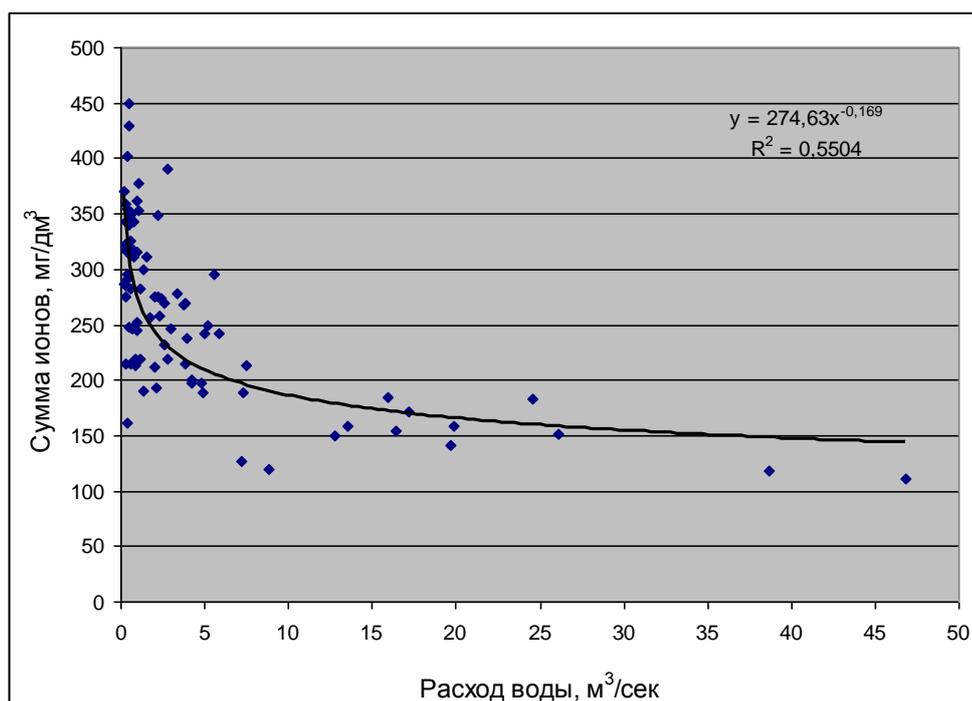


Рисунок 3.31 Зависимость общей минерализации от расхода воды, р.  
Резекне

Анализируя представленные на рисунках 3.28–3.31 зависимости, можно сделать вывод о том, что наибольшей изменчивостью под влиянием водности р. Резекне характеризуются гидрокарбонаты ( $R^2 = 0,65$ ), магний

( $R^2 = 0,60$ ), а так же общая минерализация ( $R^2 = 0,55$ ). Отсутствие надежной связи между водностью и остальными показателями объясняется ландшафтными условиями водосбора и водным режимом реки. Среднегодовое значение коэффициента естественной зарегулированности р. Резекне составляет 0,60, что является следствием высокой озерности (12 %).

Концентрация ионов совокупности натрия+калий, сульфатов, хлоридов, нитратов и нитритов для р. Резекне не зависит от водности.

Водный режим р. Резекне был подробно исследован в [10]. Он характеризуется высокой естественной зарегулированностью. Максимальный коэффициент зарегулированности стока составляет 0,78, минимальный – 0,48, среднее значение составляет 0,60. Среднее значение доли подземного питания в стоке за год составляет 0,53, а поверхностного – 0,47. В результате концентрации главных ионов и значение общей минерализации существенно зависят от водности реки. Их изменчивость в течение года высокая. Коэффициент вариации общей минерализации составляет 0,29.

Таким образом, по данным гидрохимического мониторинга возможно оценить ландшафтные особенности водосбора и закономерности водного режима реки.

### 3.7 Река Желча

Оценка гидрохимического режима р. Желча проводилась по результатам анализов проб воды за 1955, 1956, 1961, 1963, 2007–2014 гг. Среднестатистические значения гидрохимических показателей представлены в таблице 3.8. Исходные данные находятся в Приложении А.

Таблица 3.8 Среднестатистические характеристики измеренных величин

Показатель	Количество проб, n	Коэффициент вариации $C_v$	Характерные значения		
			Среднее	Максимальное	Минимальное
Цветность, гр	9	0,46	55,33	95	24
$Ca^{2+}$ , мг/дм <sup>3</sup>	40	0,48	24,26	49,9	4,6
$Mg^{2+}$ , мг/дм <sup>3</sup>	40	0,43	8,43	16,4	1,7
$Na^+ + K^+$ , мг/дм <sup>3</sup>	40	0,53	3,71	11,2	0,5
$HCO_3^-$ , мг/дм <sup>3</sup>	40	0,47	108,5	220	14
$SO_4^{2-}$ , мг/дм <sup>3</sup>	40	0,81	16,15	60	1
$Cl^-$ , мг/дм <sup>3</sup>	40	0,81	3,73	14,7	0,9
$NO_3^-$ , мг/дм <sup>3</sup>	36	0,98	0,20	0,75	0,02
$NO_2^-$ , мг/дм <sup>3</sup>	32	1,39	0,01	0,068	0,005
Общая минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	40	0,37	164,62	280	37

Согласно классификации О.А. Алекина воды реки Желча можно отнести к водам малой минерализации гидрокарбонатно-кальциевого типа. Для всех показателей отмечается временная динамика изменения концентраций, что является следствием смены гидрологических фаз и водности года. Наибольшая изменчивость характерна для нитритов, наименьшая для цветности и магния, которые имеют довольно высокие значения.

В целом по приведенным в таблице 3.8 показателям воды р. Желча соответствуют СанПиН 2.1.4.1074–01, высокое значение цветности связано с поступлением болотных вод в русло реки.

Была исследована связь между значениями каждого показателя и измеренным в момент отбора пробы расходом воды. На рисунках 3.32–3.35 представлены полученные зависимости.

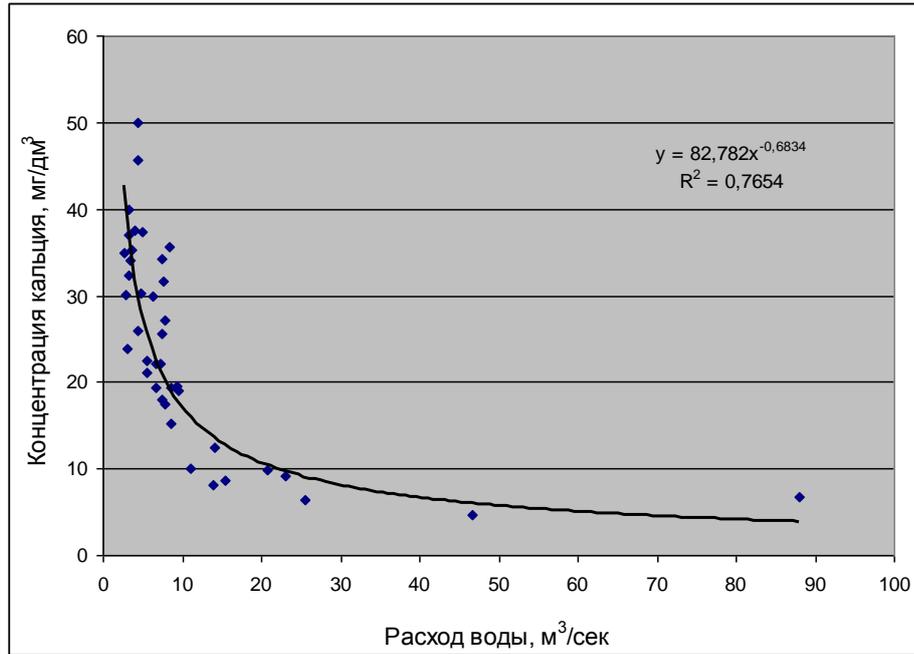


Рисунок 3.32 Зависимость концентрации  $\text{Ca}^{2+}$  от расхода воды, р. Желча

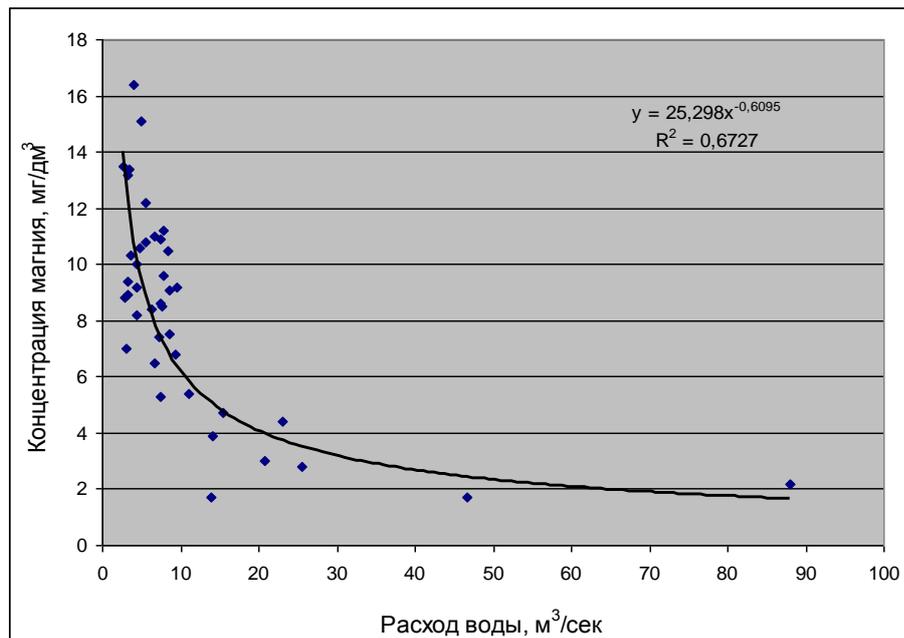


Рисунок 3.33 Зависимость концентрации  $\text{Mg}^{2+}$  от расхода воды, р. Желча

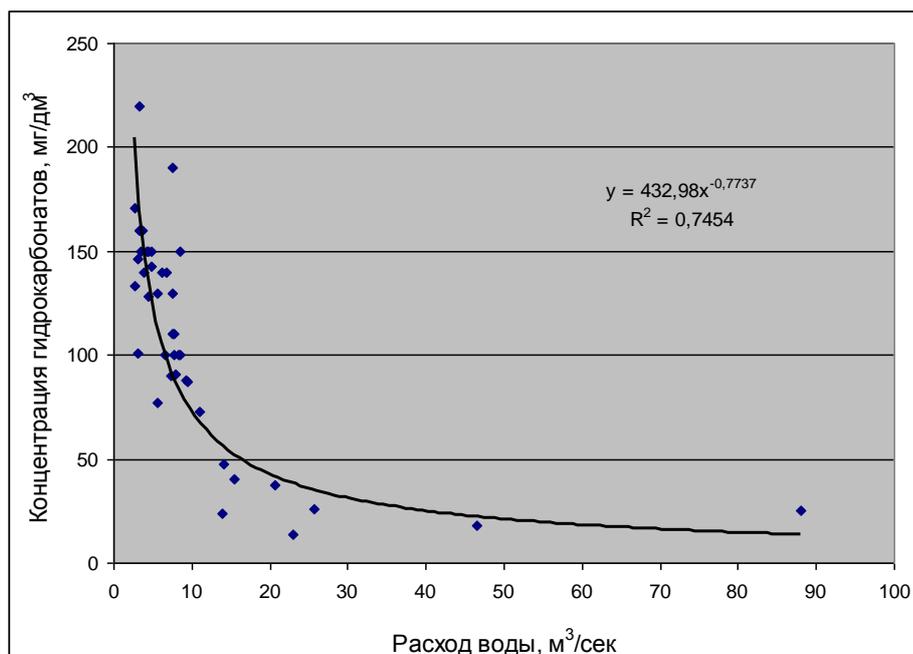


Рисунок 3.34 Зависимость концентрации  $\text{HCO}_3^-$  от расхода воды, р. Желча

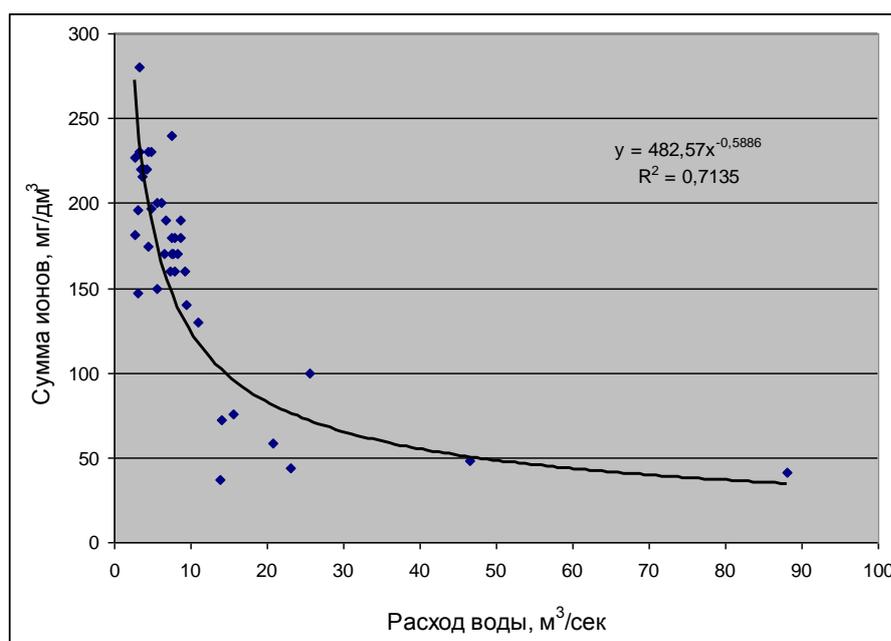


Рисунок 3.35 Зависимость общей минерализации от расхода воды, р. Желча

Анализируя представленные на рисунках 3.32–3.35 зависимости, можно сделать вывод о том, что наибольшей изменчивостью под влиянием водности р. Желча характеризуются ионы магния ( $R^2 = 0,67$ ), гидрокарбонатов ( $R^2 = 0,75$ ), кальция ( $R^2 = 0,77$ ) и общая минерализация

( $R^2 = 0,71$ ). При этом среднемноголетний коэффициент естественной зарегулированности стока составляет 0,74.

Концентрация ионов совокупности натрий+калий, сульфатов, хлоридов, нитратов и нитритов для р. Желча не зависит от водности.

Основным типом питания реки Желча постоянно являются подземные воды, однако талые воды, поступающие в русло во время весеннего половодья, обеспечивают разбавление подземных вод, формируя тем самым сезонную изменчивость концентраций главных ионов.

Водный режим р. Резекне был подробно исследован в [10]. Он характеризуется высокой естественной зарегулированностью. Максимальный коэффициент зарегулированности стока составляет 0,78, минимальный – 0,48, среднее значение составляет 0,60. Среднее значение доли подземного питания в стоке за год составляет 0,53, а поверхностного – 0,47. В результате концентрации главных ионов и значение общей минерализации существенно зависят от водности реки. Их изменчивость в течение года высокая. Коэффициент вариации общей минерализации составляет 0,29.

Таким образом, по данным гидрохимического мониторинга возможно оценить ландшафтные особенности водосбора и закономерности водного режима реки.

### 3.8. Река Плюсса

Ионный состав р. Плюсса оценивался по результатам анализов воды за период 1955 – 1969 гг. Среднестатистические значения показателей представлены в таблице 3.9.

Согласно классификации А.О. Алекина, воды р. Плюсса можно отнести к водам средней минерализации (277 мг/дм<sup>3</sup>), по значению рН, жесткость воды очень переменчивая, как правило, нейтральные, гидрокарбонатно-кальциевого типа.

Таблица 3.9 Среднестатистические характеристики измеренных величин

Показатель	Количество проб, n	Коэффициент вариации Cv	Характерные значения		
			Среднее	Максимальное	Минимальное
Цветность, гр	33	0,57	68,27	168	22
Ca <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	34	0,35	48,45	66,1	12
Mg <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	34	0,41	11,39	17,4	0,8
Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	29	0,66	10,08	27,1	0,2
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	34	0,40	183,14	264,8	33,6
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	33	0,33	13,82	21,5	4,6
Cl <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	35	0,42	12,11	19,1	0,6
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	22	1,47	0,43	3,1	0,1
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	19	1,23	0,052	0,246	0,006
Общая минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	33	0,39	276,82	393,4	52,2

Наибольшая изменчивость характерна для нитратов и нитритов, наименьшая для сульфатов и кальция. Для вод р. Плюсса характерны высокие значения цветности и биогенных элементов. Высокий показатель цветности связан со значительной заболоченностью водосбора, а высокая концентрация биогенных элементов может быть обусловлена высокой залесенностью водосбора, а также наличием населенных пунктов и сельскохозяйственной деятельности на территории водосбора.

Для р. Плюсса, графически была исследована связь между значениями концентраций каждого показателя и измеренным в момент отбора пробы расходом воды. На рисунках 3.36–3.44 представлены полученные зависимости.

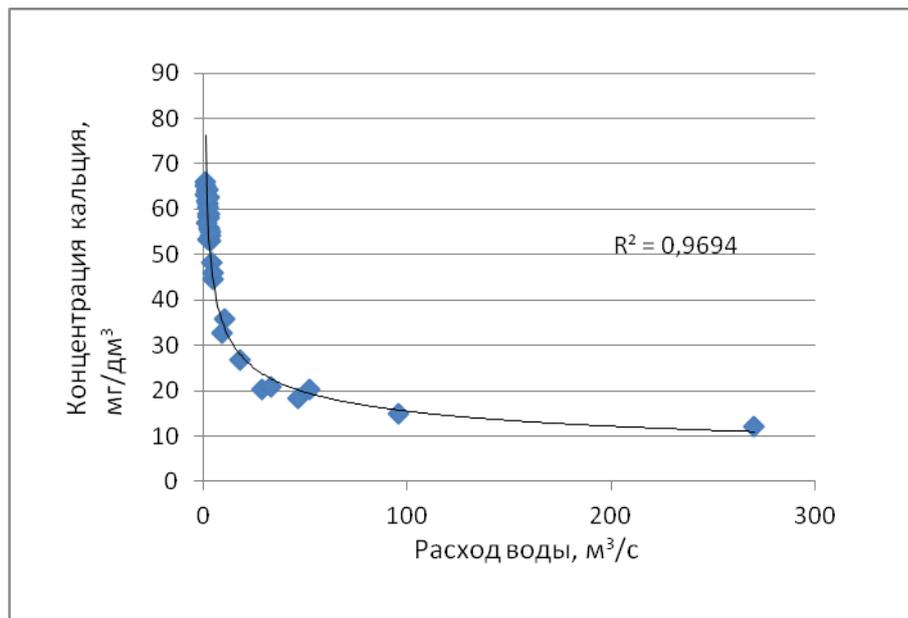


Рисунок 3.36 Зависимость концентрации  $\text{Ca}^{2+}$  от расхода воды, р. Плюсса

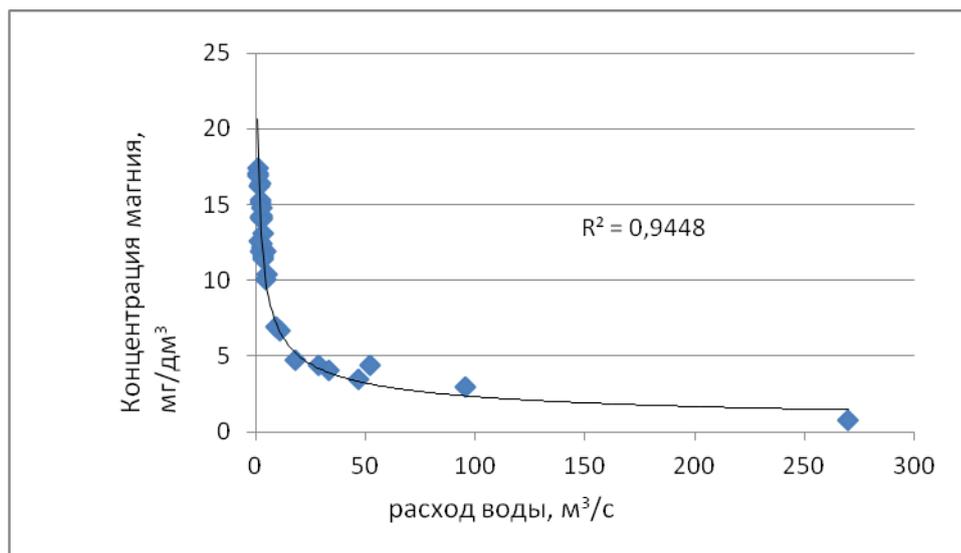


Рисунок 3.37 Зависимость концентрации  $\text{Mg}^{2+}$  от расхода воды, р. Плюсса

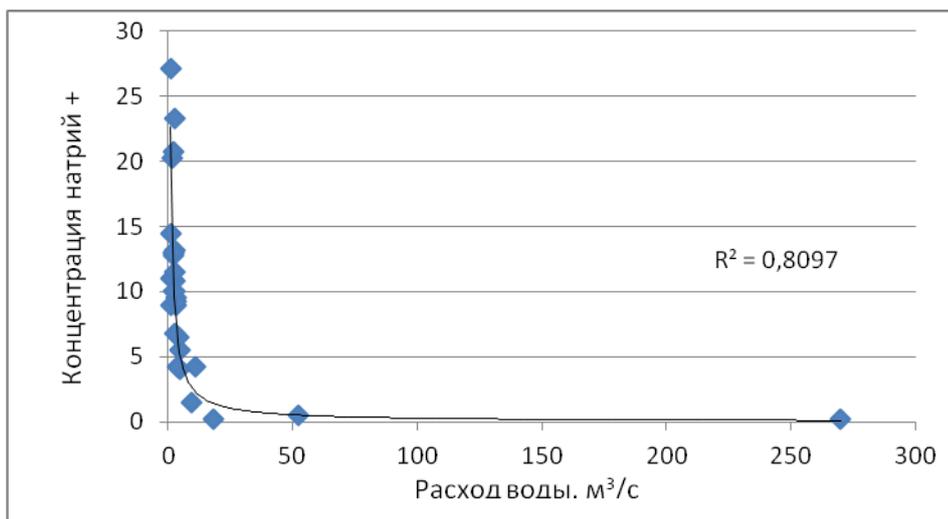


Рисунок 3.38 Зависимость концентрации  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$  от расхода воды, р. Плюсса

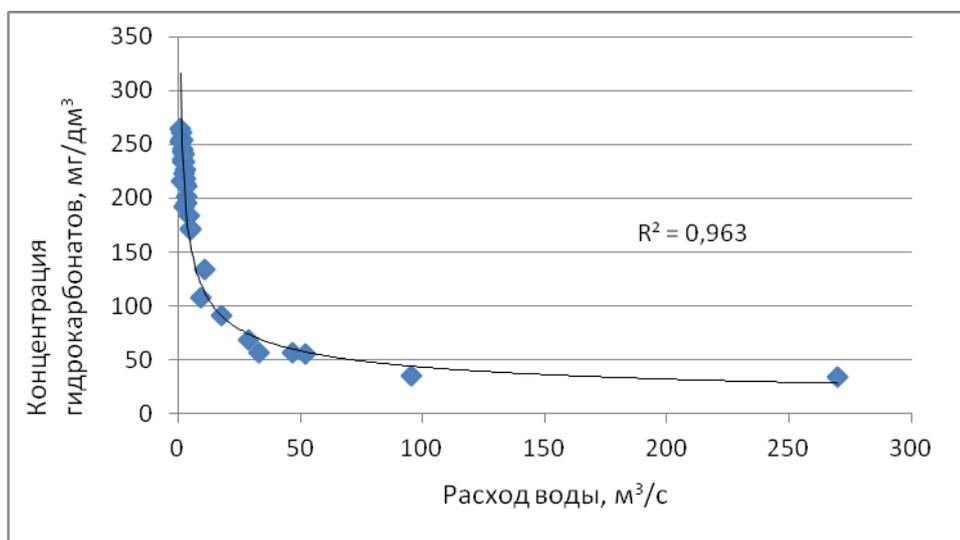


Рисунок 3.39 Зависимость концентрации  $\text{HCO}_3^-$  от расхода воды, р. Плюсса

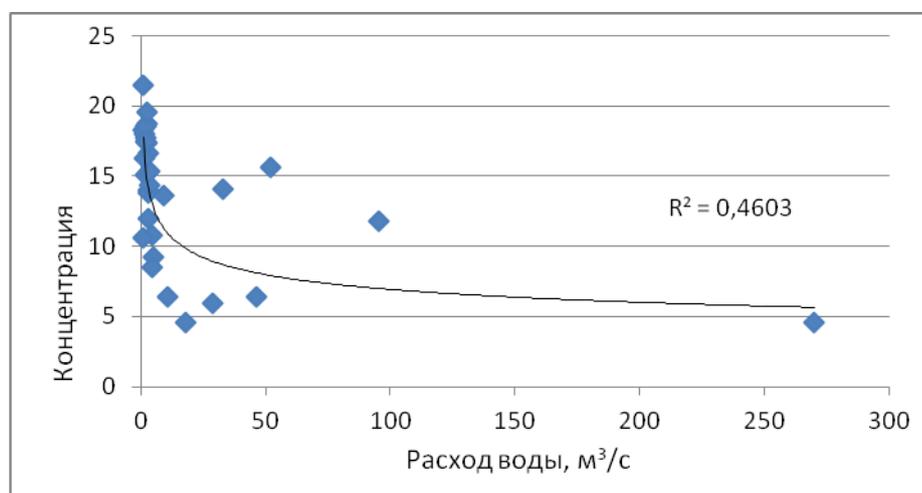


Рисунок 3.40 Зависимость концентрации  $\text{SO}_4^{2-}$  от расхода воды, р. Плюсса

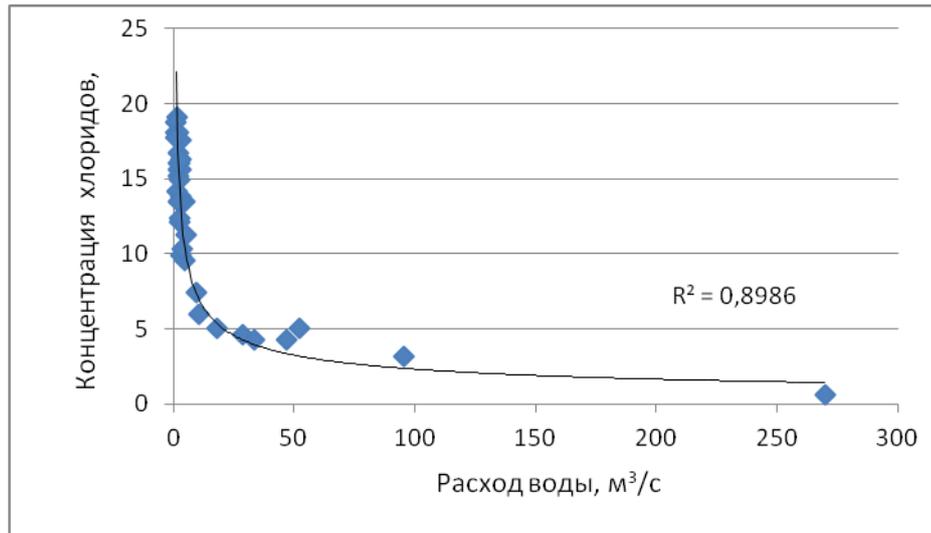


Рисунок 3.43 Зависимость концентрации  $\text{NO}_2^-$  от расхода воды, р. Плюсса

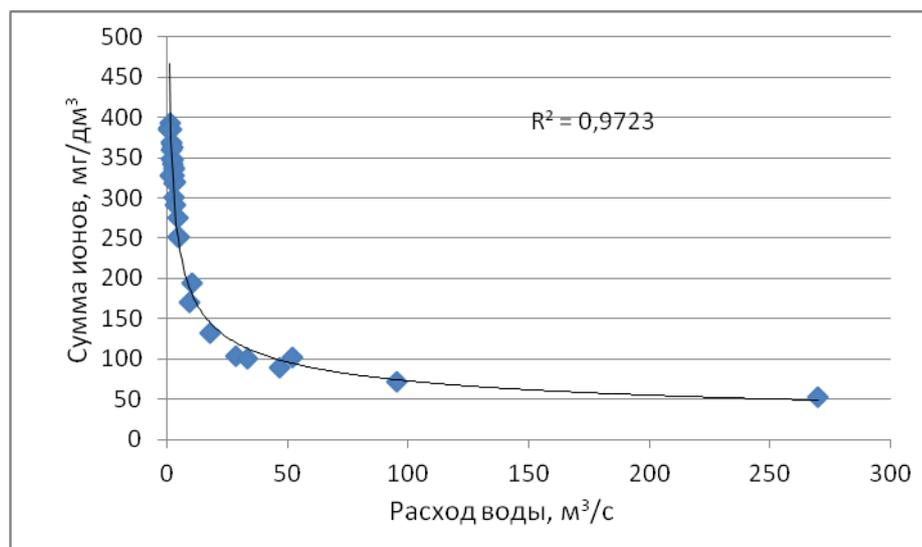


Рисунок 3.44 Зависимость общей минерализации от расхода воды, р. Плюсса

Анализируя представленные на рисунках 3.36–3.44 зависимости, можно сделать вывод о том, что наибольшей изменчивостью под влиянием водности р. Плюсса характеризуются кальций ( $R^2 = 0,97$ ), хлориды ( $R^2 = 0,90$ ), гидрокарбонаты ( $R^2=0,96$ ), магний ( $R^2 = 0,94$ ), а так же общая минерализация ( $R^2 = 0,97$ ). Максимальные значения данных показателей наблюдаются в периоды межени, когда преобладает питание высоко минерализованными почвенно-грунтовыми водами. Минимумы характерны для пика весеннего половодья, так как сток талых вод обеспечивает многократное разбавление вод в реке. Перечисленные элементы поступают в реку в большей степени с подземным стоком. Концентрации главных ионов изменяются в зависимости от фаз водного режима, однако их процентное соотношение между собой практически неизменно.

Сток р. Плюсса характеризуется средней степенью зарегулированности, о чем можно судить по характеристикам ее водосбора (заболоченность – 16 %, лесистость – 52%, озерность – 1 %) и генезису стока (доля стока половодья составляет 54% от среднегодового). Об этом же свидетельствует и изменчивость общей минерализации (0,39).

Сводные данные о химическом составе исследованных рек и его изменчивости приведены в таблице 3.10. Самое высокое значение цветности в р. Кересть (206,4 град), что связано с тем, что р. Кересть вытекает из болот, которые являются источником биогенных веществ, а также распространением суглинков на ее водосборе. Самая низкая цветность у р. Резекне – д. Гришканы (43,58 град), что объясняется тем, что река вытекает из крупного озера Разнас, в котором она достаточно прозрачная.

Самая высокая концентрация кальция и гидрокарбонатов отмечена в р. Плюсса, что объясняется тем, что данная река вытекает из озер, а самая высокая концентрация магния в рр. Резекне и в р. Плюсса, что также объясняется протеканием этих рек через систему озер, что обеспечивает высокую долю подземного питания, с которым названные элементы поступают в реки.

Самое высокое значение хлоридов наблюдается в р. Кересть, в р. Тигода, что говорит о наличии глубинного подземного питания или антропогенного воздействия со стороны населенных пунктов.

Самое высокое значение нитратов в воде р. Резекне и у р. Кересть, что объясняется тем, что на водосборах велась деятельность по распаиванию земель и осуществлялся смыв соответствующих веществ в водотоки.

Таблица 3.10 Сводные данные о химическом составе исследованных рек и его изменчивости

Река-пункт	Цветность, гр		Ca <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>		Mg <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>		Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>		Cl <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>		NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>		Общая минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	
	среднее	Cv	среднее	Cv	среднее	Cv	среднее	Cv	среднее	Cv	среднее	Cv	среднее	Cv	среднее	Cv	среднее	Cv	среднее	Cv
р. Кереть - д. Сябряницы	206,4	0,5	28,22	0,84	6,73	1,21	20,1	1,37	83,12	0,98	15,99	1,19	27,1	1,52	1,15	2,1	0,06	1,46	170,36	1,07
р. Тигода - пос. Любань	135,94	0,56	26,49	0,47	9,24	0,54	17,14	0,79	104,29	0,54	10,67	0,5	22,08	0,67	0,97	1,07	0,12	0,97	187,27	0,52
р. Полисть - д. Коробинец	182,14	0,31	6,95	0,29	1,36	0,44	1,67	0,88	12,97	0,5	5,29	0,47	2,81	0,59	0,4	0,93	0,02	1,18	29,53	0,33
р. Исса - д. Визги	79,8	0,46	35,41	0,4	8,84	0,5	2,34	0,73	147,02	0,44	3,6	0,51	2,65	0,54	0,23	1,13	0,02	1,69	200,5	0,43
р. Резекне - д. Гришканы	43,58	0,45	44,64	0,28	11,24	0,33	7,37	0,86	166,65	0,29	14,62	0,47	10,55	0,79	2,06	1,25	0,11	2,26	261,82	0,29
р. Желча - пос. Ямм	55,33	0,46	24,26	0,48	8,43	0,43	3,71	0,53	108,5	0,47	16,15	0,81	3,73	0,81	0,2	0,98	0,01	1,39	164,62	0,37
р. Плюсса - д. Плюсса	68,27	0,57	48,45	0,35	11,39	0,41	10,08	0,66	183,14	0,4	13,82	0,33	12,11	0,42	0,43	1,47	0,052	1,23	276,82	0,39

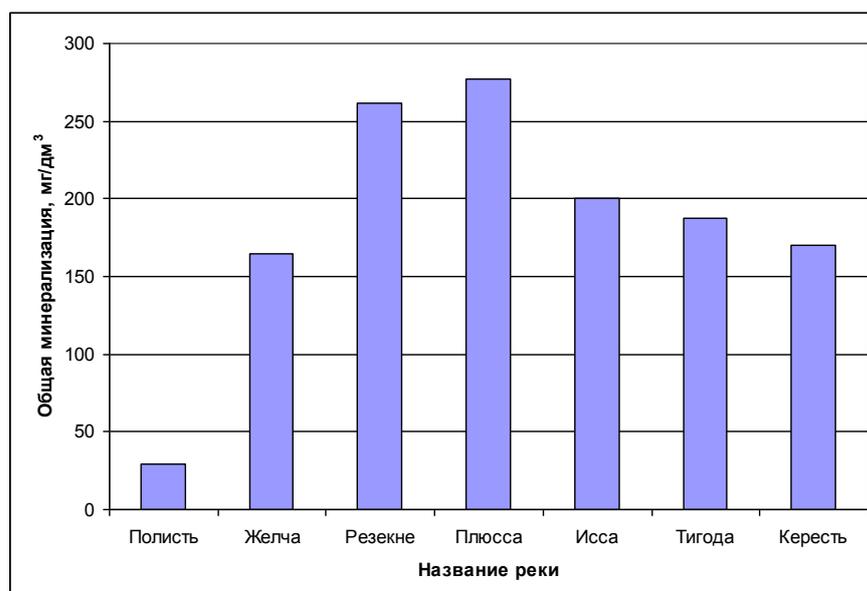


Рисунок 3.45 Общая минерализация рек

Значения общей минерализации рек существенно отличаются, минимальное значение в р. Полисть составляет  $29,5 \text{ мг/дм}^3$ , а максимальное в р. Плюсса составляет  $276,8 \text{ мг/дм}^3$ . Для рек с незначительным базисным стоком (низкой естественной зарегулированностью) характерны достаточно средние значения минерализации. Высокую минерализацию вод р. Резекне объясняет их генезис: река берет начало из озера и в ее стоке велика доля озерно-подземного питания. Ультранизкая минерализация вод р. Полисть объясняется распространением олиготрофных болот на ее водосборе.

Таблица 3.11 Сводная таблица характеристик рек (частично по [10])

Река-Пункт	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Озёрность, %	Заболоченность водосбора, %	Залесенность водосбора, %	Доля источника питания		Коэффициент естественной зарегулированности стока, $\frac{\varphi_{\max} - \varphi_{\min}}{\varphi_{\text{ср}}}$	Связь Q с главными ионами, ион (R <sup>2</sup> )	Связь Q с $\sum n_i$ , R <sup>2</sup>	Коэффициент вариации общей минерализации, Cv
					подземный сток $\frac{\alpha_{\max} - \alpha_{\min}}{\alpha_{\text{ср}}}$	поверхностный сток $\frac{\beta_{\max} - \beta_{\min}}{\beta_{\text{ср}}}$				
р. Кересть – дер. Сябраницы	833	<1	7	75	$\frac{0,38-0,08}{0,23}$	$\frac{0,92-0,62}{0,77}$	$\frac{0,55-0,17}{0,36}$	Ca <sup>2+</sup> (0,84), Cl <sup>-</sup> (0,82), HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (0,78), Mg <sup>2+</sup> (0,68)	0,86	1,07
р. Тигода – пос. Любань	589	<1	14	74	$\frac{0,70-0,17}{0,36}$	$\frac{0,83-0,30}{0,64}$	$\frac{0,54-0,27}{0,39}$	Ca <sup>2+</sup> (0,80), Cl <sup>-</sup> (0,63), HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (0,89), Mg <sup>2+</sup> (0,63)	0,85	0,52
р. Полисть – дер. Коробинец	1160	5	26	46	$\frac{0,62-0,29}{0,41}$	$\frac{0,71-0,38}{0,59}$	$\frac{0,78-0,48}{0,64}$	Ca <sup>2+</sup> (0,53); HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (0,53),	0,70	0,33
р. Исса – дер. Визги	1410	1	4	53	$\frac{0,50-0,20}{0,39}$	$\frac{0,80-0,50}{0,61}$	$\frac{0,67-0,42}{0,53}$	Ca <sup>2+</sup> (0,80), HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (0,80), Mg <sup>2+</sup> (0,84)	0,82	0,43
р. Резекне – дер. Гришканы	504	12	5	10	$\frac{0,76-0,31}{0,53}$	$\frac{0,69-0,24}{0,47}$	$\frac{0,78-0,48}{0,60}$	Ca <sup>2+</sup> (0,47), HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (0,50), Mg <sup>2+</sup> (0,60)	0,55	0,29
р. Желча – пос. Ямм	1220	1	8	74	$\frac{0,73-0,49}{0,64}$	$\frac{0,51-0,27}{0,36}$	$\frac{0,82-0,62}{0,74}$	Ca <sup>2+</sup> (0,76), Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> (0,49), HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (0,75), Mg <sup>2+</sup> (0,67)	0,71	0,37
р. Плюсса – д. Плюсса	1440	1	16	52	0,46	0,54 сток половодья		Ca <sup>2+</sup> (0,97), Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> (0,81), HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (0,96), Mg <sup>2+</sup> (0,94), Cl <sup>-</sup> (0,90), SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (0,46), NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (0,49), NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (0,44)	0,97	0,39

#### 4 Оценка среднегодового стока по значению общей минерализации

##### *Река Плюсса*

Как показано выше, между значениями общей минерализации и расходов воды в р. Плюсса наблюдается тесная связь. Была сделана попытка оценить среднегодовой расход р. Плюсса по уравнению этой связи. Уравнение имеет вид

$y = 466,25x^{-0,404}$ . Оно было линеаризовано и значения расходов находились по формуле:

$$x = \exp((\ln(466,25) - \ln y) / 0,404)$$

где  $x$  – среднегодовой расход воды, м<sup>3</sup>/с;

$y$  – среднегодовая минерализация ионов, мг/дм<sup>3</sup>;

Значения фактических расходов получены из соответствующих гидрологических ежегодников [13].

Таблица 4.1 – Результаты оценки восстановления значений среднегодовых расходов воды р. Плюсса по зависимости  $S=f(Q)$

Год	Количество проб	Среднегодовая минерализация, $\Sigma_{и}$ , мг/дм <sup>3</sup>	$Q_{расч}$ , м <sup>3</sup> /с	$Q_{факт}$ , м <sup>3</sup> /с	Абсолютная погрешность, $ Q_{факт} - Q_{расч} $ , м <sup>3</sup> /с	Относительная погрешность, $\Delta$ , %
1955	3	179,83	10,57	11,9	1,33	11
1956	3	210,47	7,16	13	5,84	45
1961	6	188,9	9,36	9,31	0,05	1
1962	2	276,05	3,66	15,6	11,94	77
1963	2	380,35	1,66	5,15	3,49	68
1964	2	386,1	1,6	3,46	1,86	54
1965	12	256,8	4,38	6,31	1,93	31
1966	2	313,5	2,67	13,6	10,93	80
1967	2	332,75	2,3	9,92	7,62	77
1968	2	338,25	2,21	10,1	7,89	78
1969	2	374,2	1,72	9,1	7,38	81
Среднее	3	294,29	4,30	9,77	5,48	54,7

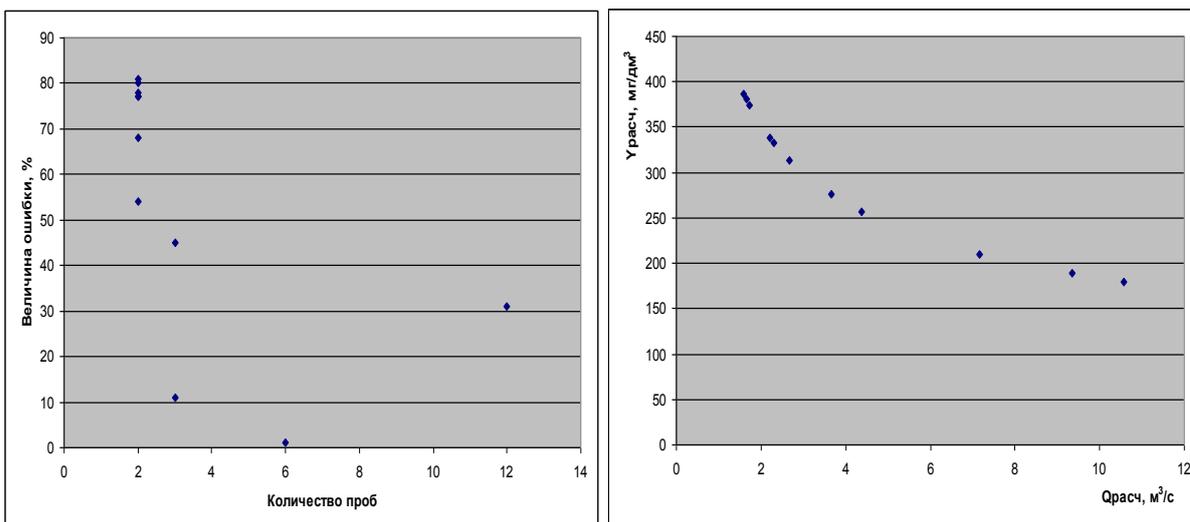


Рисунок 4.1 Зависимости: относительной погрешности от количества проб (1) и среднегодового расчетного расхода воды от среднегодовой минерализации (2) для р. Плюсса

Изначально предполагалось, что точность оценки расходов зависит от количества проб, а именно, что чем больше отобрано проб, тем меньше относительная погрешность, и наоборот, чем меньше отобрано проб, тем больше относительная погрешность. Однако как видно из таблицы, за 1965 г. отобрано 12 проб, но относительная погрешность (31%) больше, чем относительная погрешность, получившаяся за 1955 г (11%), когда было отобрано всего три пробы и за 1961 г. (1 %), когда было отобрано 6 проб. Это может быть связано с нерепрезентативным отбором проб в течение года: если пробы распределены неравномерно между маловодными и многоводными фазами, тогда точно оценить расход не удастся.

### *Река. Исса*

Оценка среднегодового стока по значению общей минерализации

Была сделана попытка оценить среднегодовой расход р. Исса по уравнению этой связи. Уравнение имеет вид

$y = 332,76x^{-0,2905}$ . Оно было линеаризовано и значения расходов находились по формуле:

$$x = \exp((\ln(332,76) - \ln y) / 0,2905)$$

где  $x$  – среднегодовой расход воды, м<sup>3</sup>/с;

$y$  – среднегодовая минерализация ионов, мг/дм<sup>3</sup>;

Значения фактических расходов получены из соответствующих гидрологических ежегодников [11].

Таблица 4.2 – Результаты оценки значений среднегодовых расходов воды р. Исса

Год	Количество проб	$Y_{\text{ср}}$	$Q_p$	$Q_f$	$ Q_f - Q_p $ , м <sup>3</sup> /сек	$\Delta$ %
1954	3	195,73	6,21	7,3	1,09	14,9
1955	6	176,62	8,85	12,3	3,45	28,0
1957	6	147,6	16,42	12,8	3,62	28,3
1958	6	153,07	14,48	12,9	1,58	12,3
1959	6	191,68	6,68	8,02	1,34	16,7
1961	6	189,78	6,91	6,34	0,57	9,0
1962	3	231,5	3,49	13,7	10,21	74,5
1963	2	291,05	1,59	6,22	4,63	74,5
1964	2	305,6	1,34	2,29	0,95	41,5
1966	2	306,1	1,33	3,32	6,99	84,0
1967	1	239,1	3,12	6,64	3,52	53,0
1968	2	308,75	1,29	11,12	9,83	88,4
1969	2	269,45	2,07	6,08	4,01	66,0
Среднее	4	231,23	5,68	8,39	3,98	45,5

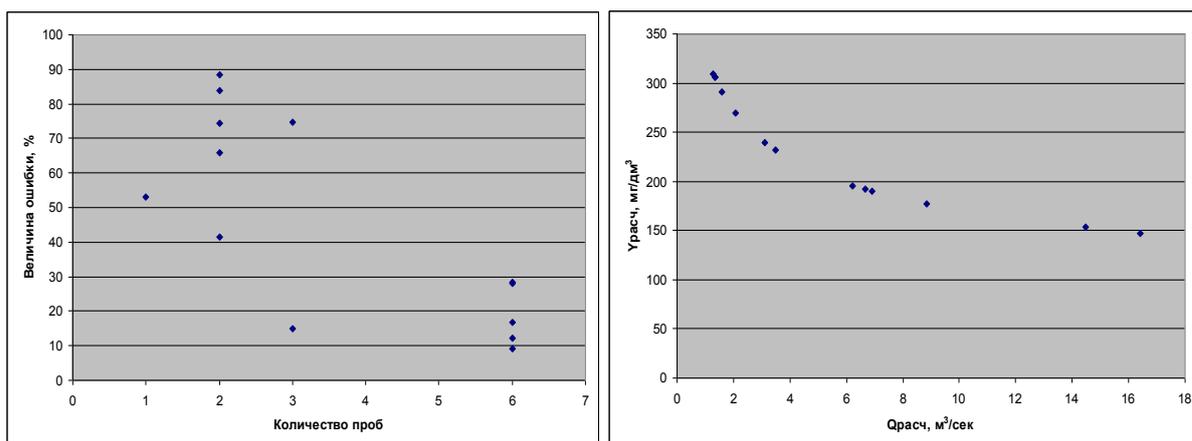


Рисунок 4.2 Зависимости: относительной погрешности от количества проб (1) и среднегодового расчетного расхода воды от среднегодовой минерализации (2) для р. Исса

Изначально предполагалось, что точность оценки расходов зависит от количества проб, а именно, что чем больше отобрано проб, тем меньше

относительная погрешность, и наоборот, чем меньше отобрано проб, тем больше относительная погрешность. Однако как видно из таблицы, за 1955 г. и 1957г отобрано по 6 проб в каждом году, но относительная погрешность (по 28%) и в 1955 г. и в 1957 г. больше, чем относительная погрешность, получившаяся за 1954 г (15%), когда было отобрано всего три пробы. Это может быть связано с нерепрезентативным отбором проб в течение года: если пробы распределены неравномерно между маловодными и многоводными фазами, тогда точно оценить расход не удастся.

### *Река Кересть*

Была сделана попытка оценить среднегодовой расход р. Кересть по уравнению этой связи. Уравнение имеет вид

$y = 166,58x^{-0,3208}$ . Оно было линеаризовано и значения расходов находились по формуле:

$$x = \exp((\ln(166,58) - \ln y) / 0,3208)$$

где  $x$  – среднегодовой расход воды, м<sup>3</sup>/с;

$y$  – среднегодовая минерализация ионов, мг/дм<sup>3</sup>;

Значения фактических расходов получены из соответствующих гидрологических ежегодников [12].

Таблица 4.3 – Результаты оценки значений среднегодовых расходов воды р. Кересть

Год	Количество проб	Y <sub>ср</sub>	Q <sub>р</sub> , м3/с	Q <sub>ф</sub> , м3/с	Q <sub>ф</sub> -Q <sub>р</sub>  , м3/сек	Δ %
1946	3	80,37	9,70	5,08	4,62	90,9
1954	3	286,23	0,18	3,56	3,38	94,8
1955	4	125,38	2,42	6,87	4,45	64,7
1956	7	202,1	0,55	5,62	5,07	90,3
1957	6	81,78	9,19	9,06	0,13	1,4

1958	7	109,14	3,74	5,77	2,03	35,2
1959	7	114,86	3,19	5,38	2,19	40,8
1961	4	85,08	8,12	5,89	2,23	37,9
1962	7	86,06	7,84	11	3,16	28,8
1963	7	158,8	1,16	3,7	2,54	68,6
1964	6	254,57	0,27	2,75	2,48	90,3
1965	6	144,3	1,56	4,02	2,46	61,1
1966	7	143,57	1,59	9,16	7,57	82,6
1967	7	120,76	2,73	4,87	2,14	44,0
1968	2	318,3	0,13	5,23	5,10	97,5
1969	2	511,95	0,03	5,25	5,22	99,4
1971	1	171,5	0,91	4,32	3,41	78,9
1972	2	657,7	0,01	2,48	2,47	99,4
1973	2	744,4	0,01	0,96	0,95	99,0
1975	3	169,03	0,96	4,48	3,52	78,7
Среднее	5	228,294	2,71	5,27	3,26	69,2

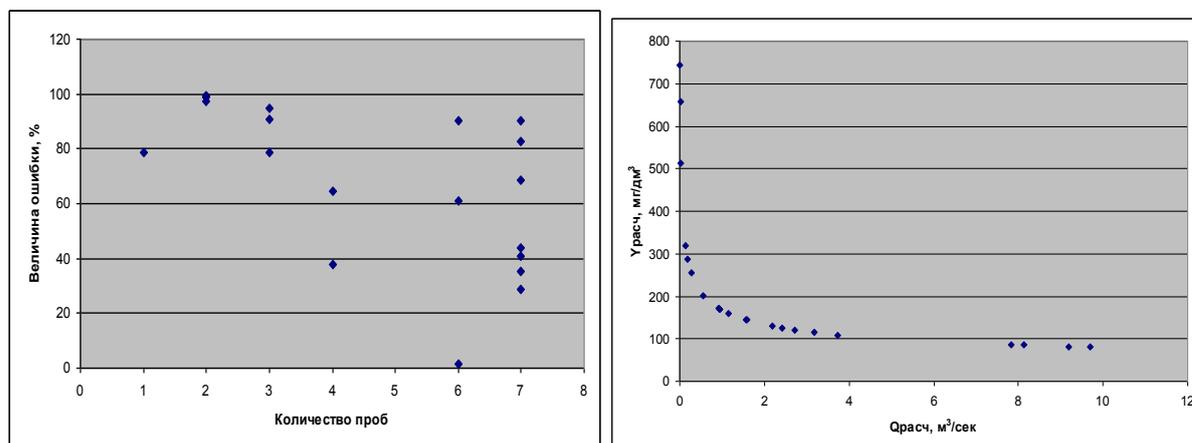


Рисунок 4.3 Зависимости: относительной погрешности от количества проб (1) и среднегодового расчетного расхода воды от среднегодовой минерализации (2) для р. Кереть

Изначально предполагалось, что точность оценки расходов зависит от количества проб, а именно, что чем больше отобрано проб, тем меньше относительная погрешность, и наоборот, чем меньше отобрано проб, тем больше относительная погрешность. Однако как видно из таблицы, за 1956 г. отобрано 7 проб, но относительная погрешность (90%) больше, чем относительная погрешность, получившаяся за 1955 г (65%), когда было отобрано всего четыре пробы и за 1957 г. (1 %), когда было отобрано 6 проб. Это может быть связано с нерепрезентативным отбором проб в течение года: если пробы распределены неравномерно между

маловодными и многоводными фазами, тогда точно оценить расход не удастся.

### *Река Полисть*

Была сделана попытка оценить среднегодовой расход р. Полисть по уравнению этой связи. Уравнение имеет вид

$y=43,267\ln(0,2357)$ . Оно было линеаризовано и значения расходов находились по формуле:

$$x=\exp((3,767-\ln(y))/0,2357)$$

где  $x$  – среднегодовой расход воды, м<sup>3</sup>/с;

$y$  – среднегодовая минерализация ионов, мг/дм<sup>3</sup>;

Значения фактических расходов получены из соответствующих гидрологических ежегодников [12].

Таблица 4.4 – Результаты оценки значений среднегодовых расходов воды р. Полисть

Год	Количество проб	У <sub>ср</sub>	Q <sub>расч</sub> , м3/сек	Q <sub>факт</sub> , м3/сек	Q <sub>ф</sub> -Q <sub>р</sub>  , м3/сек	Δ, %факт
1954	1	28,7	5,70	5,66	0,04	0,7
1955	1	28,7	5,70	9,58	3,88	40,5
1956	6	29,9	4,79	8,39	3,60	42,9
1957	3	25,4	9,57	11	1,43	13,0
1958	6	22,2	16,94	9,04	7,90	87,4
1959	6	26,9	7,50	6,53	0,97	14,8
1961	3	27,7	6,62	7,67	1,05	13,7
1962	7	25,7	9,10	9,82	0,72	7,3
1963	1	30,9	4,16	5,46	1,30	23,7
1964	4	32,9	3,19	3,23	0,04	1,2
1965	6	34,2	2,71	4,9	2,19	44,7
1966	7	34,4	2,64	7,06	4,42	62,6
1967	7	31,6	3,79	3,82	0,03	0,9
1968	3	34,3	2,67	7,48	4,81	64,2
1969	2	41,1	1,24	3,21	1,97	61,3
Среднее	4	30,3	5,75	6,86	2,29	31,9

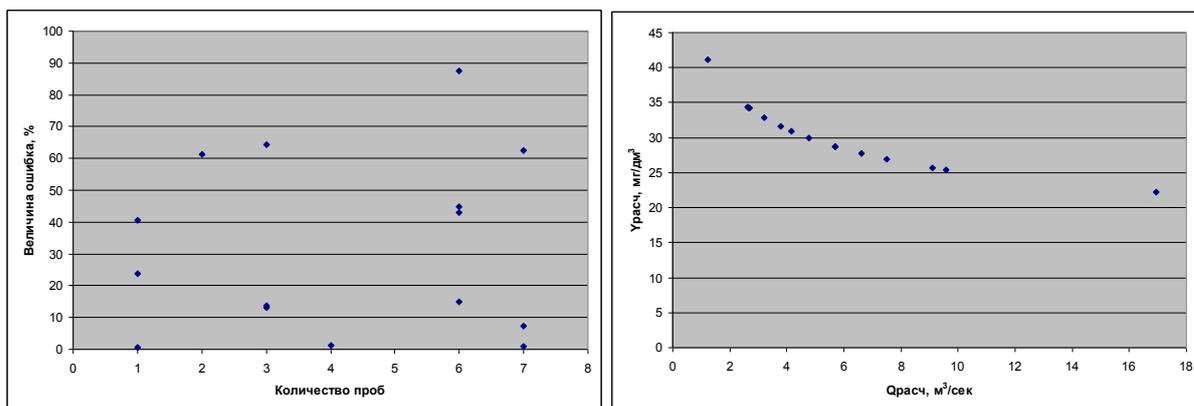


Рисунок 4.4 Зависимости: относительной погрешности от количества проб (1) и среднегодового расчетного расхода воды от среднегодовой минерализации (2) для р. Полисть

Изначально предполагалось, что точность оценки расходов зависит от количества проб, а именно, что чем больше отобрано проб, тем меньше относительная погрешность, и наоборот, чем меньше отобрано проб, тем больше относительная погрешность. Однако как видно из таблицы, за 1956 г. отобрано 6 проб, но относительная погрешность (43%) больше, чем относительная погрешность, получившаяся за 1957 г (13%), когда было отобрано всего три пробы и за 1963 г. (2 %), когда было отобрана всего 1 проба. Это может быть связано с нерепрезентативным отбором проб в течение года: если пробы распределены неравномерно между маловодными и многоводными фазами, тогда точно оценить расход не удастся.

#### *Река Резекне*

Была сделана попытка оценить среднегодовой расход р. Резекне по уравнению этой связи. Уравнение имеет вид

$y = 274,63x^{-0,169}$ . Оно было линеаризовано и значения расходов находились по формуле:

$$x = \exp((\ln(274,63) - \ln y) / 0,169)$$

где  $x$  – среднегодовой расход воды, м<sup>3</sup>/с;

$y$  – среднегодовая минерализация ионов, мг/дм<sup>3</sup>;

Значения фактических расходов получены из соответствующих гидрологических ежегодников [12].

Таблица 4.5 – Результаты оценки значений среднегодовых расходов воды р. Резекне

Год	Количество проб	$Y_{cp}$	$Q_p$ , м <sup>3</sup> /с	$Q_{ф}$ , м <sup>3</sup> /с	$ Q_{ф}-Q_p $ , м <sup>3</sup> /сек	$\Delta$ %
1955	5	180,44	12,01	3,38	8,63	255,2
1957	6	173,63	15,07	4,62	10,45	226,3
1958	4	188,58	9,25	4,37	4,88	111,6
1959	6	214,35	4,33	2,18	2,15	98,8
1965	12	256,67	1,49	1,66	0,17	10,1
1967	8	253,46	1,61	2,12	0,51	24,2
1968	7	300,4	0,59	2,69	2,10	78,1
1969	4	306,6	0,52	1,5	0,98	65,3
1970	4	235	2,51	2,48	0,03	1,4
1971	5	309,38	0,49	2,53	2,04	80,5
1972	6	327,63	0,35	1,21	0,86	70,9
1973	6	308,7	0,50	1,4	0,90	64,2
1974	6	333,53	0,32	1,69	1,37	81,3
1975	6	254,52	1,57	2,64	1,07	40,6
Среднее	6	260,21	3,62	2,46	2,58	86,3

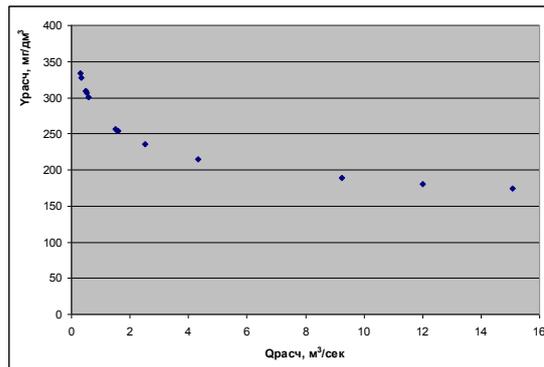
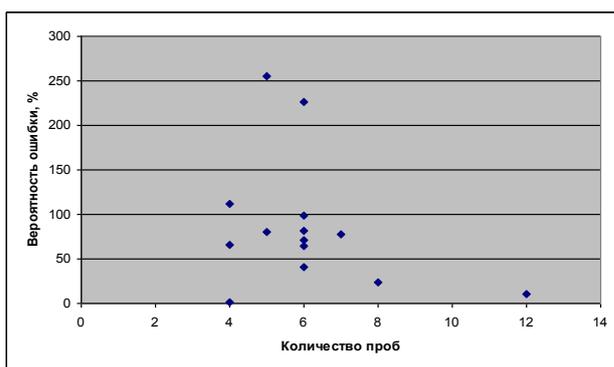


Рисунок 4.5 Зависимости: относительной погрешности от количества проб (1) и среднегодового расчетного расхода воды от среднегодовой минерализации (2) для р. Резекне

Изначально предполагалось, что точность оценки расходов зависит от количества проб, а именно, что чем больше отобрано проб, тем меньше

относительная погрешность, и наоборот, чем меньше отобрано проб, тем больше относительная погрешность. Однако как видно из таблицы, за 1959 г. отобрано 6 проб, но относительная погрешность (99%) больше, чем относительная погрешность, получившаяся за 1969 г (65%), когда было отобрано всего четыре пробы и за 1971 г. (80 %), когда было отобрано 5 проб. Это может быть связано с нерепрезентативным отбором проб в течение года: если пробы распределены неравномерно между маловодными и многоводными фазами, тогда точно оценить расход не удастся.

### *Река Тигода*

Была сделана попытка оценить среднегодовой расход р. Тигода по уравнению этой связи. Уравнение имеет вид  $y = 170,35x^{-0,3764}$ . Оно было линеаризовано и значения расходов находились по формуле:

$$x = \exp((\ln(y) - \ln(170,35)) / 0,3764)$$

где  $x$  – среднегодовой расход воды, м<sup>3</sup>/с;

$y$  – среднегодовая минерализация ионов, мг/дм<sup>3</sup>;

Значения фактических расходов получены из соответствующих гидрологических ежегодников [12].

Таблица 4.6 – Результаты оценки значений среднегодовых расходов воды р. Тигода

Год	Количество проб	Y <sub>ср</sub>	Q <sub>р</sub> , м3/с	Q <sub>ф</sub> , м3/с	Q <sub>ф</sub> -Q <sub>р</sub>  , м3/сек	Δ %
1946	3	136,73	0,56	3,77	3,21	85,2
1954	4	184,08	1,23	2,53	1,30	51,4
1955	4	136,15	0,55	4,84	4,29	88,6
1956	3	180,5	1,17	3,78	2,61	69,1
1961	4	105,58	0,28	4,01	3,73	93,0
1962	2	125,5	0,44	7,77	7,33	94,3
1963	2	291,8	4,18	2,82	1,36	48,2
1964	2	276,3	3,61	2,44	1,17	48,1
1965	2	208,55	1,71	2,89	1,18	40,8
1966	2	195,5	1,44	6	4,56	76,0

1967	2	147,75	0,69	3,52	2,83	80,5
1968	2	248,3	2,72	4,82	2,10	43,5
1969	2	287,7	4,02	4,13	0,11	2,6
1971	1	181,4	1,18	4,62	3,44	74,4
1972	2	304,1	4,66	2,48	2,18	88,0
1973	2	330,5	5,82	1,39	4,43	318,5
1975	4	203,13	1,60	3,33	1,73	52,1
Среднее	3	208,45	2,11	3,83	2,80	79,7

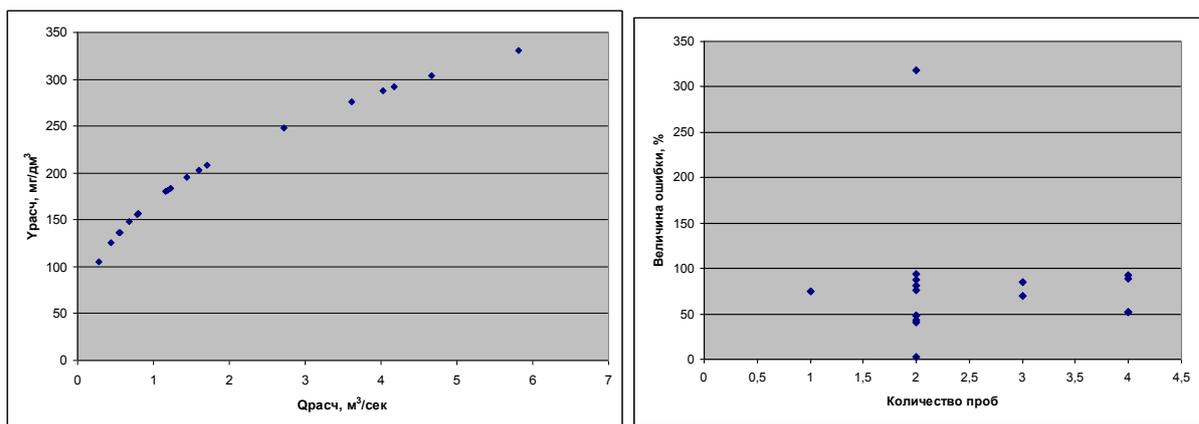


Рисунок 4.6 Зависимости: относительной погрешности от количества проб (1) и среднегодового расчетного расхода воды от среднегодовой минерализации (2) для р. Тигода

Изначально предполагалось, что точность оценки расходов зависит от количества проб, а именно, что чем больше отобрано проб, тем меньше относительная погрешность, и наоборот, чем меньше отобрано проб, тем больше относительная погрешность. Однако как видно из таблицы, за 1961 г. отобрано 4 пробы, но относительная погрешность (93%) больше, чем относительная погрешность, получившаяся за 1963 г (48%), когда было отобрано всего две пробы, за 1964 г. (48 %), когда было отобрано 2 проб, за 1965 г (41 %), когда было отобрано две пробы, а также за 1969 г. (2 %), когда было отобрано две пробы. А также, например, относительная погрешность, получившаяся в 1946 г. (85%), когда было отобрано три пробы, больше, чем погрешность, получившаяся в 1954 г. (51 %), когда было отобрано четыре пробы. Это может быть связано с нерепрезентативным отбором проб в течение года: если пробы

распределены неравномерно между маловодными и многоводными фазами, тогда точно оценить расход не удастся.

### *Река Желча*

Была сделана попытка оценить среднегодовой расход р. Плюсса по уравнению этой связи. Уравнение имеет вид  $y = 482,57x^{-0,5886}$ . Оно было линеаризовано и значения расходов находились по формуле:

$$x = \exp((\ln(482,57) - \ln y) / 0,5886)$$

где  $x$  – среднегодовой расход воды, м<sup>3</sup>/с;

$y$  – среднегодовая минерализация ионов, мг/дм<sup>3</sup>;

Значения фактических расходов получены из соответствующих гидрологических ежегодников [12].

Таблица 4.7 – Результаты оценки значений среднегодовых расходов воды р. Желча

Год	Количество проб	Y <sub>ср</sub>	Q <sub>расч</sub> , м <sup>3</sup> /сек	Q <sub>факт</sub> , м <sup>3</sup> /сек	Q <sub>ф</sub> -Q <sub>р</sub>  , м <sup>3</sup> /сек	Δ, %
1956	3	144,57	7,75	7,2	0,55	7,7
1963	2	221,55	3,75	9,52	5,77	60,6
2007	4	220	3,80	8,09	4,29	53,1
2008	4	167,5	6,04	10,52	4,48	42,6
2009	4	147,5	7,49	9,73	2,24	23,0
2010	4	116	11,27	10,86	0,41	3,8
2011	4	197,5	4,56	10,28	5,72	55,6
2012	4	156	6,81	8,65	1,84	21,3
2013	4	186,75	5,02	7,94	2,92	36,8
Среднее	4	173,04	6,28	9,20	3,14	33,82

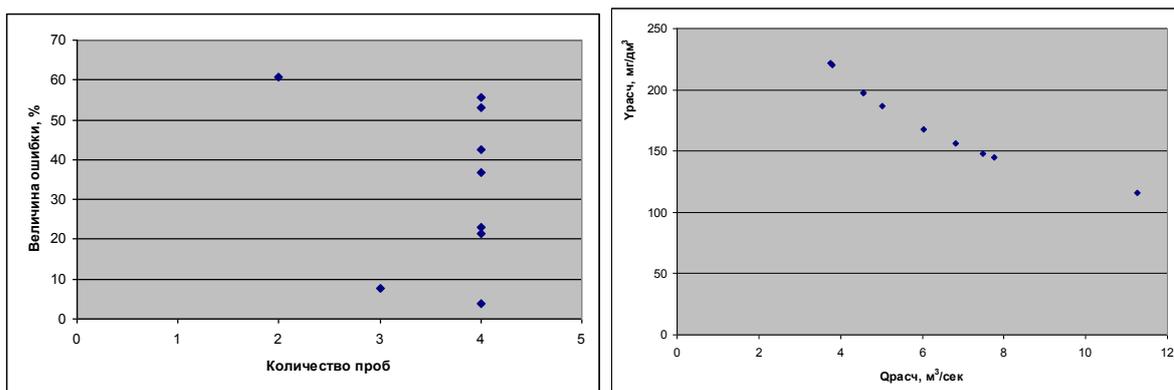


Рисунок 4.7 Зависимости: относительной погрешности от количества проб (1) и среднегодового расчетного расхода воды от среднегодовой минерализации (2) для р. Желча

Изначально предполагалось, что точность оценки расходов зависит от количества проб, а именно, что чем больше отобрано проб, тем меньше относительная погрешность, и наоборот, чем меньше отобрано проб, тем больше относительная погрешность. Однако как видно из таблицы, за 1955 г. отобрано 6 проб, но относительная погрешность (29%) больше, чем относительная погрешность, получившаяся за 1956 г (8%), когда было отобрано всего три пробы и за 2009 г. (23 %), когда было отобрано 4 проб, а также за 2010 г (4 %), когда было отобрано всего четыре пробы. Это может быть связано с нерепрезентативным отбором проб в течение года: если пробы распределены неравномерно между маловодными и многоводными фазами, тогда точно оценить расход не удастся.

Тем не менее, в некоторой степени число проб определяет величину относительной ошибки. Так, при 12 пробах величина ошибки не превышает 40 % (рис. 4.8).

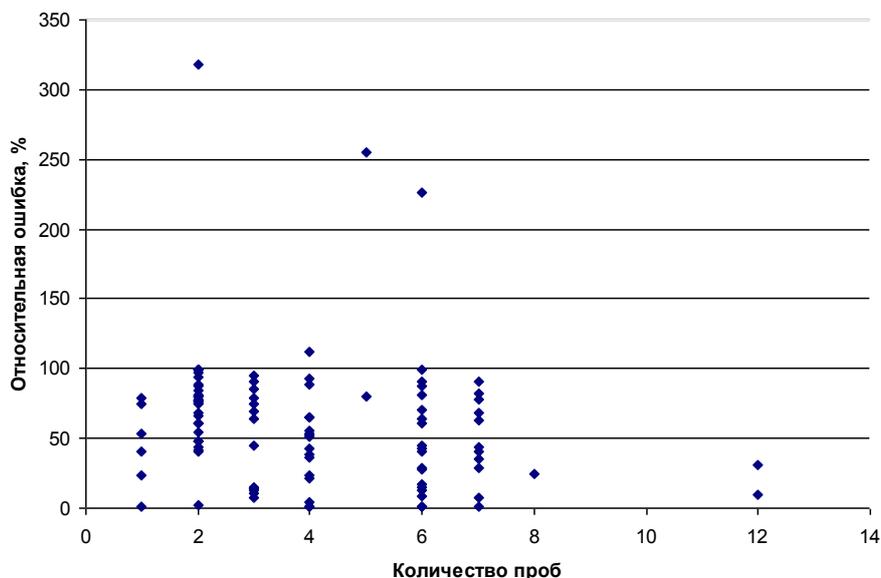


Рисунок 4.8 Зависимость относительной ошибки восстановления расходов воды от количества проб

*Оценка точности уравнения линейной регрессии для двух переменных*

Полученное на основе эмпирических данных уравнение линейной регрессии может использоваться в качестве прогностической зависимости или расчетной формулы, однако это является корректным только в случае, если данное уравнение обеспечивает необходимую точность расчета, или проще говоря, является надежным.

Ранее отмечалось, что в качестве меры линейной зависимости между двумя переменными используется коэффициент парной корреляции. В соответствии с действующими в гидрологии нормативными документами, зависимость может использоваться для практических расчетов, для практических расчетов, если  $|r| \geq 0,7$ .

Смысл этого неравенства будет более понятен, если рассмотреть величину  $r^2$ , которую называют коэффициентом детерминации. Коэффициент детерминации характеризует долю общего разброса относительно среднего значения  $u_{cp}$ , объясняемую регрессией. Если зависимость функциональная и точки относительно линии лежат без

разброса, то весь разброс относительно  $y_{cp}$  объясняется регрессией, т.е.  $r^2=1$ . При  $r=0,7$  коэффициент детерминации  $r^2=0,49$ . Таким образом, в гидрологии зависимость может использоваться для практических расчетов, если регрессия объясняет 50 % или более разброса величины.

Уравнение можно рекомендовать для практических расчетов, если выполнены следующие условия [13]:

$$n \geq 10; \quad |r| \geq 0,7; \quad |r|/\sigma_r \geq 2; \quad |a|/\sigma_a \geq 2$$

Проведем оценку точности уравнений регрессии для каждой реки на соответствие уравнений каждой реки данным условиям:

для р. Плюсса:

$$y = 466,25x^{-0,404}$$

1.  $n=33 > 10$ , число наблюдений больше 10, критерий выполняется.
2.  $r^2=0,9723$ , следовательно,  $r=0,99$ , что больше значения  $r=0,7$ , следовательно, соответствие данному критерию выполняется.
3.  $|r|/\sigma_r \geq 2$ ;

$$\sigma_r = (1-r^2)/\text{Sqrt}(n-1) = 0,00489$$

$|0,99|/0,00489 \geq 2$ , следовательно,  $202,45 \geq 2$ , значит, соответствие данному критерию также выполняется.

$$4 \quad |a|/\sigma_a \geq 2,$$

$$a = 466,25$$

$$\sigma_a = \sigma_{y(x)} / (\text{Sqrt}(x_i - x_{cp})^2)$$

$$\sigma_{y(x)} = \sigma^* \text{Sqrt}(((1-r^2)(n-1))/(n-2))$$

$$\sigma^* = 1110,05$$

$$\sigma_{y(x)} = 110,05 * \text{Sqrt}(((1-0,9723)(33-1))/(33-2)) = 18,61$$

$$\sigma_a = 18,61 / (\text{Sqrt}(667,077)) = 0,72$$

$$466,25/0,72 \geq 2$$

$$647,57 \geq 2$$

Следовательно, соответствие данному критерию выполняется.

Выполнив анализ на соответствие по основным четырем критериям по р. Плюсса, можно сделать вывод, что т.к. все соответствие всем четырем условиям выполняется, то это уравнение  $y=466,25x^{-0,404}$  можно рекомендовать для практических расчетов

Для р. Кересть

$$y=166,58x^{-0,3208}$$

1.  $n=95>10$ , число наблюдений больше 10, критерий выполняется.
2.  $r^2=0,8561$ , следовательно,  $r=0,925$ , что больше значения  $r=0,7$ , следовательно, соответствие данному критерию выполняется.

$$3. |r|/\sigma_r \geq 2;$$

$$\sigma_r=(1-r^2)/\text{Sqrt}(n-1)=0,015$$

$|0,925|/0,015>2$ , следовательно,  $61,67 \geq 2$ , значит, соответствие данному критерию также выполняется.

$$4. |a|/\sigma_a \geq 2$$

$$a=332,76$$

$$\sigma_a=\sigma_{y(x)}/(\text{Sqrt}(x_i-x_{cp})^2)$$

$$\sigma_{y(x)}=\sigma^*\text{Sqrt}(((1-r^2)(n-1))/(n-2))$$

$$\sigma^*=182,57$$

$$\sigma_{y(x)}=182,57*\text{Sqrt}(((1-0,8561)(95-1))/(95-2))=69,52$$

$$\sigma_a=69,52/(\text{Sqrt}(3133056,5))=69,52/1770=0,0393$$

$$166,58/0,0393 \geq 2$$

$$4238,68 \geq 2$$

Следовательно, соответствие данному критерию выполняется.

Выполнив анализ на соответствие по основным четырем критериям по р. Кересть, можно сделать вывод, что т.к. все соответствие всем четырем условиям выполняется, то это уравнение  $y=166,58x^{-0,3208}$  можно рекомендовать для практических расчетов.

Для р. Исса

$$y=332,76x^{-0,2905}$$

1.  $n=45>10$ , число наблюдений больше 10, критерий выполняется.
2.  $r^2=0,8164$ , следовательно,  $r=0,904$ , что больше значения  $r=0,7$ , следовательно, соответствие данному критерию выполняется.

$$3. |r|/\sigma_r \geq 2;$$

$$\sigma_r=(1-r^2)/\text{Sqrt}(n-1)=0,028$$

$|0,904|/0,028>2$ , следовательно,  $32,286 \geq 2$ , значит, соответствие данному критерию также выполняется.

$$4. |a|/\sigma_a \geq 2$$

$$a=332,76$$

$$\sigma_a=\sigma_{y(x)}/(\text{Sqrt}(x_i-x_{cp})^2)$$

$$\sigma_{y(x)}=\sigma^* \text{Sqrt}(((1-r^2)(n-1))/(n-2))$$

$$\sigma^*= 86,12$$

$$\sigma_{y(x)}=86,12 \cdot \text{Sqrt}(((1-0,81664)(45-1))/(45-2))=37,34$$

$$\sigma_a=37,34/(\text{Sqrt}(326366,86))=37,34/571,29=0,0653$$

$$332,76/0,0653 \geq 2$$

$$5095,87 \geq 2$$

Следовательно, соответствие данному критерию выполняется.

Выполнив анализ на соответствие по основным четырем критериям по р. Исса, можно сделать вывод, что т.к. все соответствие всем четырем условиям выполняется, то это уравнение  $y=332,76x^{-0,2905}$  можно рекомендовать для практических расчетов.

Для р. Полисть

$$y=43,267x^{-0,2357}$$

1.  $n=62>10$ , число наблюдений больше 10, критерий выполняется.
2.  $r^2=0,696$ , следовательно,  $r=0,834$ , что больше значения  $r=0,7$ , следовательно, соответствие данному критерию выполняется.

$$3. |r|/\sigma_r \geq 2;$$

$$\sigma_r=(1-r^2)/\text{Sqrt}(n-1)=0,0389$$

$|0,834|/0,0389 > 2$ , следовательно,  $21,44 \geq 2$ , значит, соответствие данному критерию также выполняется.

$$4. |a|/\sigma_a \geq 2$$

$$a = 43,267$$

$$\sigma_a = \sigma_{y(x)} / (\text{Sqrt}(x_i - x_{cp})^2)$$

$$\sigma_{y(x)} = \sigma^* \text{Sqrt}(((1-r^2)(n-1))/(n-2))$$

$$\sigma^* = 9,7$$

$$\sigma_{y(x)} = 9,7 * \text{Sqrt}(((1-0,696)(62-1))/(62-2)) = 5,432$$

$$\sigma_a = 5,432 / (\text{Sqrt}(5740,54)) = 5,432 / 75,77 = 0,072$$

$$43,267 / 0,072 \geq 2$$

$$600,93 \geq 2$$

Следовательно, соответствие данному критерию выполняется.

Выполнив анализ на соответствие по основным четырем критериям по  $r$ . Полив, можно сделать вывод, что т.к. все соответствие всем четырем условиям выполняется, то это уравнение  $y = 43,267x^{-0,2357}$  можно рекомендовать для практических расчетов.

Для  $r$ . Резекне

$$y = 274,63x^{-0,169}$$

1.  $n = 85 > 10$ , число наблюдений больше 10, критерий выполняется.

2.  $r^2 = 0,5504$ , следовательно,  $r = 0,742$ , что больше значения  $r = 0,7$ , следовательно, соответствие данному критерию выполняется.

3.  $|r|/\sigma_r \geq 2$ ;

$$\sigma_r = (1-r^2)/\text{Sqrt}(n-1) = 0,049$$

$|0,742|/0,049 > 2$ , следовательно,  $15,14 \geq 2$ , значит, соответствие данному критерию также выполняется.

$$4. |a|/\sigma_a \geq 2$$

$$a = 274,63$$

$$\sigma_a = \sigma_{y(x)} / (\text{Sqrt}(x_i - x_{cp})^2)$$

$$\sigma_{y(x)} = \sigma^* \text{Sqrt}(((1-r^2)(n-1))/(n-2))$$

$$\sigma^* = 76,019$$

$$\sigma_{y(x)} = 76,019 * \text{Sqrt}(((1-0,5504)(85-1))/(85-2)) = 51,31$$

$$\sigma_a = 51,31 / (\text{Sqrt}(485429,8)) = 51,31 / 696,73 = 0,0736$$

$$274,63 / 0,0736 \geq 2$$

$$3731,39 \geq 2$$

Следовательно, соответствие данному критерию выполняется.

Выполнив анализ на соответствие по основным четырем критериям по р. Резекне, можно сделать вывод, что т.к. все соответствие всем четырем условиям выполняется, то это уравнение  $y = 274,63x^{-0,169}$  можно рекомендовать для практических расчетов.

Для р. Тигода

$$y = 170,35x^{-0,3764}$$

1.  $n = 49 > 10$ , число наблюдений больше 10, критерий выполняется.

2.  $r^2 = 0,8492$ , следовательно,  $r = 0,922$ , что больше значения  $r = 0,7$ , следовательно, соответствие данному критерию выполняется.

3.  $|r|/\sigma_r \geq 2$ ;

$$\sigma_r = (1-r^2)/\text{Sqrt}(n-1) = 0,0218$$

$|0,922|/0,0218 > 2$ , следовательно,  $42,29 \geq 2$ , значит, соответствие данному критерию также выполняется.

4.  $|a|/\sigma_a \geq 2$

$$a = 170,35$$

$$\sigma_a = \sigma_{y(x)} / (\text{Sqrt}(x_i - x_{cp})^2)$$

$$\sigma_{y(x)} = \sigma^* \text{Sqrt}(((1-r^2)(n-1))/(n-2))$$

$$\sigma^* = 97,99$$

$$\sigma_{y(x)} = 97,99 * \text{Sqrt}(((1-0,8492)(49-1))/(49-2)) = 38,454$$

$$\sigma_a = 38,454 / (\text{Sqrt}(460925,73)) = 51,31 / 678,92 = 0,0566$$

$$170,35 / 0,0566 \geq 2$$

$$3009,72 \geq 2$$

Следовательно, соответствие данному критерию выполняется.

Выполнив анализ на соответствие по основным четырем критериям по р. Тигода, можно сделать вывод, что т.к. все соответствие всем четырем условиям выполняется, то это уравнение  $y=170,35x^{-0,3764}$  можно рекомендовать для практических расчетов.

Для р. Желча

$$y=482,57x^{-0,5886}$$

3.  $n=40>10$ , число наблюдений больше 10, критерий выполняется.

4.  $r^2=0,7135$ , следовательно,  $r=0,8447$ , что больше значения  $r=0,7$ , следовательно, соответствие данному критерию выполняется.

$$3. |r|/\sigma_r \geq 2;$$

$$\sigma_r = (1-r^2)/\text{Sqrt}(n-1) = 0,0459$$

$|0,8447|/0,0459 > 2$ , следовательно,  $18,4 \geq 2$ , значит, соответствие данному критерию также выполняется.

$$4. |a|/\sigma_a \geq 2$$

$$a=482,57$$

$$\sigma_a = \sigma_{y(x)} / (\text{Sqrt}(x_i - x_{cp})^2)$$

$$\sigma_{y(x)} = \sigma^* \cdot \text{Sqrt}(((1-r^2)(n-1))/(n-2))$$

$$\sigma^* = 61,72$$

$$\sigma_{y(x)} = 61,72 \cdot \text{Sqrt}(((1-0,7135)(40-1))/(40-2)) = 33,47$$

$$\sigma_a = 33,47 / (\text{Sqrt}(148525,59)) = 33,47/385,39 = 0,0868$$

$$482,57/0,0868 \geq 2$$

$$5559,56 \geq 2$$

Следовательно, соответствие данному критерию выполняется.

Выполнив анализ на соответствие по основным четырем критериям по р. Желча, можно сделать вывод, что т.к. все соответствие всем четырем условиям выполняется, то это уравнение  $y=482,57x^{-0,5886}$  можно рекомендовать для практических расчетов.

## Заключение

В ходе работы над дипломным проектом была создана база гидрохимических данных для малых реках юго-восточной части бассейна Балтийского моря: Кереть, Тигода, Полисть, Плюсса, Желча, Исса, Резекне. Она содержит результаты анализа проб воды, отобранных в течение ряда лет периода 1946 – 2014 гг. и значения расходов воды, измеренных при отборе проб в пунктах контроля качества вод в сети Росгидромета.

Анализ исходных данных позволяет сделать следующие выводы:

- Содержание главных ионов, показатель цветности и значение общей минерализации свидетельствует об особенностях ландшафтов (и почв водосбора. Ультранизкая минерализация характерна для рек, на водосборах которых распространены олиготрофные болота.
- Изменчивость гидрохимических показателей связана с естественной зарегулированностью стока за счёт расположенных на водосборе озёр, болот, лесов: чем выше естественная зарегулированность, тем ниже изменчивость гидрохимических показателей.

Была предпринята попытка восстановления значений среднегодовых расходов воды рек по среднегодовым значениям общей минерализации. Точность восстановления оценена и проанализирована. Показано, что точность восстановления зависит не только от числа отобранных за год проб, но и от того, насколько репрезентативно, относительно основных фаз водного режима, они отобраны в течение года.

Следует отметить, что при существующей системе мониторинга и отсутствии доступа к данным гидрохимического мониторинга, выполнять междисциплинарные исследования сложно. Результаты работы могут быть полезны студентам и специалистам, вовлечённым в гидроэкологические исследования.

## Список использованных источников

1. Скакальский Б.Г. Особенности формирования химического состава вод местного стока в бассейне р. Шелони // Труды ГГИ, вып. 119, 1965, с.67-86
2. Ресурсы поверхностных вод СССР, Том 2, Карелия и Северо-Запад, часть 1, 2, 3 [Текст] / Гидрометеорологическое издательство, 1972
3. Никаноров А.М. Гидрохимия. [Текст] / СПб.: Гидрометеиздат, 2001. – 444 с.
4. Грабовский Р.И. Атмосферные ядра конденсации. [Текст] / Л.: Гидрометеиздат, 1956. – 164 с.
5. Самарина В.С. Гидрогеохимия. [Текст] / Л.: Изд-во ЛГУ, 1977. – 359 с.
6. Владимиров А.М., Орлов В.Г. Охрана и мониторинг поверхностных вод суши. Учебник. [Текст] / СПб.: РГГМУ, 2009. – 220 с.
7. Зайков Б.Д. Очерки гидрологических исследований в России. [Текст] / Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 326 с.
8. Чеботарев А.И. Общая гидрология (воды суши) [Текст]/Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 530 с.
9. Атлас гидрохимических характеристик местного стока Европейской территории СССР [Текст] / Под редакцией П.П. Воронкова, Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 47 с.
10. Янковская О.А. Гидрологическое обоснование оценки стока растворенных веществ. Магистерская диссертация. РГГМУ. Санкт-Петербург, 2018
11. Фадеев В.В., Тарасов М.Н., Павелко В.Л. Зависимость минерализации и ионного состава воды рек от их водного режима. [Текст] / Л., 1989. – 173 с.
12. Гидрологический ежегодник, Том 1, Бассейн Балтийского моря и Карелия 1946–1985, 2007–2014 гг. [Текст].

13.Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. [Текст] / СПб.: изд. РГГМУ. 2007. – 279 с.

