

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФГБОУ ВПО
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
(РГГМУ)

На правах рукописи

НАССЕР ОТМАН МОХАММЕД ОТМАН

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ПОСТУПЛЕНИЯ БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ
С ВОДОСБОРА ПО ДЛИНЕ РЕКИ ВЕЛИКАЯ

Специальность 25.00.36 – Геоэкология

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата географических наук

Научный руководитель:
Доктор географических наук
профессор, В.А. Шелутко

Санкт-Петербург – 2014

Список сокращений

ХПК – химическое потребление кислорода

БПК – биохимическое потребление кислорода

БПК₅ – биохимическое потребление кислорода за 5 суток

СКО – среднеквадратическое отклонение

ПДК – предельно-допустимая концентрация

НЭ – неэквидистентность

ЗВ – загрязняющие вещества

в. створ – верхний створ

н. створ – нижний створ

Содержание

	стр.
Введение.....	5
1 Анализ особенностей региона исследования.....	10
1.1 Физико-географические особенности бассейна реки Великая.....	10
1.2 Характеристика хозяйственной деятельности в бассейне р. Великой.....	20
1.3 Описание пунктов наблюдений.....	26
2 Характеристика исходных данных наблюдений.....	29
2.1 Оценка основных числовых характеристик исходных рядов наблюдений.....	31
2.2 Оценка однородности исходной информации.....	34
2.2.1 Однородность исходных рядов данных по количеству наблюдений внутри года.....	35
2.2.2 Неэквидистентность исходной информации.....	37
2.2.3 Оценка однородности рядов наблюдений по критерию Стьюдента и Фишера	39
2.3 Оценка стационарности рядов наблюдений	43
3 Оценка выбросов в исходных рядах данных наблюдений...	47
3.1 Анализ законов распределения исходных рядов наблюдений	48
3.1.1 Теоретические основы выбора оптимального закона распределения.	48
3.1.2 Результаты.....	53
3.2 Оценка выбросов в исходных рядах наблюдений	58
3.2.1 Графический метод выявления выбросов в рядах наблюдений	58
3.2.2 Оценка выбросов в исходных рядах наблюдений по критерию Диксона	63
3.2.3 Оценка выбросов в исходных рядах наблюдений по методике изложенной в РД 52.24.622-2001.....	65
3.3 Результаты и выводы.....	67

	стр.
4	Комплексная методика оценки средних годовых концентраций и объемов годового стока биогенов с учетом особенностей геоэкологической информации..... 74
4.1	Обзор методик учета особенностей геоэкологической информации при оценке среднегодовой концентрации биогенов 75
4.2	Комплексная методика одновременного учета неэквидистентности информации и водности в период взятия проб на химический анализ 77
4.3	Результаты и выводы..... 82
5	Анализ многолетних колебаний концентраций и объемов стока биогенов по длине реки Великой..... 93
5.1	Использование интегральных кривых в гидрологических исследованиях..... 94
5.2	Анализ изменчивости концентраций и объемов стока с помощью интегральных кривых 97
5.3	Баланс стока биогенов по реке Великая с учетом особенностей гидрохимической информации 110
	Заключение..... 124
	Список использованных источников..... 127
	Приложения 137

Введение

С ростом городов, развитием промышленности и активизацией сельского хозяйства давление человека на водные объекты все более усиливается. Промышленные, хозяйственно-бытовые, сельскохозяйственные и другие сточные воды, сбрасываемые в водные объекты, вызывают в той или иной степени выраженные антропогенные изменения качества воды, нарушая тем самым экологическое равновесие [4, 66, 87]. Реки являются не только естественными дренами для водного стока, но и вынужденными коллекторами всех сточных вод на водосборе. В настоящее время с ростом городов и развитием промышленного производства сточным водам открыт прямой доступ в водные объекты через канализацию. Особенно сильно загрязняются небольшие, и даже средние реки, находящиеся в промышленных и густонаселённых районах [8, 19, 82]. При этом такие водные объекты обладают более низкой способностью к самоочищению, и как следствие более уязвимы [9, 18].

В последние десятилетия одной из наиболее актуальных проблем состояния водных ресурсов становится биогенное загрязнение водных объектов и их эвтрофирование [71, 22, 35]. Процесс эвтрофирования сегодня приобретает более широкий масштаб вследствие антропогенного увеличения содержания биогенных веществ в водных объектах [38, 68, 83]. С одной стороны биогенные вещества являются жизненно важными компонентами химического состава поверхностных вод, и их недостаток лимитирует развитие водных организмов. С другой стороны при увеличении содержания биогенов в воде повышается продуктивность водных экосистем, происходит снижение качества воды, а после достижения некоторых критических значений, начинается зарастание водных объектов [3, 85, 86]. Естественно поэтому, оценка степени загрязненности природных вод в настоящее время стала необходимой при проектировании технологических циклов предприятий, при водоснабжении

населения, а также при строительстве гидротехнических и мелиоративных сооружений [60, 84].

Геоэкологические исследования по определению антропогенной нагрузки на водные объекты опираются на данные гидрохимических наблюдений. В частности одними из важных показателей антропогенной нагрузки являются средние годовые значения концентраций и объемы годового биогенного стока в водных объектах [33, 36]. Вместе с тем, как показано в работах В.А. Шелутко, Е.В. Колесниковой, Н.М. Тороповой, Е.С. Смыжовой и др., принятые в настоящее время методы оценок этих характеристик не учитывают особенностей первичной информации, заложенной в расчеты – измеренных значений концентраций загрязняющих веществ. В связи с этим авторами были предложены приемы и методы в значительной степени уточняющие оценки средних годовых концентраций и объемов биогенного стока. Данная работа является продолжением этих актуальных исследований.

В связи с этим, **целью** настоящего исследования является разработка комплексной методики учета особенностей гидрохимической информации при оценке средних годовых концентраций и объемов годового стока биогенов и на этой основе изучение баланса биогенов по длине реки Великая.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие **задачи**:

1. Разработка комплексной методики расчета средней годовой концентрации и объемов годового стока биогенов на основе учета особенностей гидрохимической и гидрологической информации.
2. Анализ однородности и выявление выбросов в рядах измеренных концентраций биогенов в р. Великой.
3. Оценка и анализ объемов стока биогенов в отдельных пунктах наблюдений на р. Великой при исключении выбросов, с учетом водности в период взятия проб на химический анализ и неэквидистентности рядов наблюдений.

4. Разработка методики оценки баланса стока биогенов по длине р. Великой на основе применения интегральных кривых.

5. Уточнение объема стока биогенов по р. Великой в Псковско-Чудское озеро на основе комплексной методики уточнения расчетов годового стока биогенов.

Объект исследования – река Великая.

Предмет исследования – пространственно-временная динамика объема стока биогенов.

Исходными материалами для исследования являются данные наблюдений на реке Великая за концентрациями растворенного кислорода (O_2) аммонийного азота ($N-NH_4$), нитритного азота ($N-NO_2$), нитратного азота ($N-NO_3$), минерального фосфора ($P-PO_4$) и общего железа (Fe), а также за показателями ХПК (химическое потребление кислорода), БПК₅ (биохимическое потребление кислорода) и расходами воды за период с 1969 по 2009 годы. В работе приведены данные по 3 пунктам наблюдений на реке Великая: г. Опочка, г. Остров и г. Псков, каждый пункт наблюдения содержит два створа, расположенные выше и ниже города. Данные представлены Северо-Западным межрегиональным территориальным управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (СЗУГМС). В исходных рядах наблюдений имеются незначительные пробелы. Так в рядах среднегодовых концентраций нитратного азота отсутствуют данные за период 1972-1977 годы, а ряды среднегодовых концентраций минерального фосфора начинаются с 1978 года на всех створах наблюдения.

В качестве методов исследований используется широкий спектр статистических средств обработки информации и метод территориальных обобщений. Проводится сопряженный анализ гидрохимического и водного режимов речных вод. Достоверность оценок и результатов обеспечивается использованием в качестве информационной базы материалов государственной

системы наблюдений за состоянием поверхностных вод и применением стандартных методов математической обработки данных наблюдений.

Научная новизна исследований заключается в следующем:

- 1) Впервые разработана комплексная методика одновременного учета водности и неэквидистентности при расчете среднегодовой концентрации и годового объема стока.
- 2) Разработана методика оценки стока биогенов с различных частей водосбора по длине реки Великая, основанная на построении интегральных кривых в каждом створе наблюдения.
- 3) Уточнение объемов стока биогенов по длине р. Великой за счет исключения выбросов, с учетом водности в период взятия проб на химический анализ и неэквидистентности исходных рядов наблюдений, применяемых в рамках единой комплексной методики.

Защищаемые научные положения:

1. Комплексная методика учета особенностей гидрохимической информации при анализе и расчетах годового стока биогенов.
2. Методика оценки баланса стока биогенов по длине реки с несколькими пунктами наблюдений на основе применения интегральных кривых.
3. Результаты комплексной оценки пространственной и временной динамики стока биогенов по длине реки Великая на основе применения разработанных методик.

Личный вклад автора заключается в постановке проблемы исследования, методическом обеспечении её решения и анализе полученных автором результатов оценок стока биогенных веществ.

В основе диссертации лежат результаты более чем трехлетних исследований автора по проблеме оценки стока биогенных веществ.

Практическое значение полученных результатов. Разработанные методики и приемы позволяют более точно определить оценки средних годовых концентраций и объемов стока загрязняющих веществ, а также при наличии нескольких створов наблюдений оценить вклад в биогенный сток городских и межгородских территорий.

Результаты исследований внедрены в работу по тематическому плану РГГМУ «Разработка теоретических основ расчета и прогноза экстремальных уровней загрязнения окружающей среды в больших городах и промышленных зонах» за 2011–2014 годы. Результаты работы были внедрены также в учебную дисциплину «Моделирование распространения примесей в водных объектах».

Апробация работы. Все положения и результаты исследований неоднократно докладывались и обсуждались на итоговых сессиях ученого Совета РГГМУ (2012, 2013), на международной научной конференции «Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон» (2012), Международной конференции «Первые Виноградовские чтения. Будущее гидрологии» (2013), IV Международной научно-практической конференции «Современные концепции научных исследований» (2014).

Публикации. Всего по теме диссертации опубликовано 4 работы, из них 2 статьи в изданиях из списка ВАК

1 Анализ особенностей региона исследования

В качестве объекта исследования выбрана река Великая. Выбор объекта исследования обусловлен прежде всего тем, что река Великая является крупнейшим притоком Псковского озера, являющегося частью Псковско-Чудской озерной системы. Кроме того, Псковско-Чудская озерная система является пограничным водным объектом, часть его акватории принадлежит Эстонии. В результате такого административно-территориального деления неизбежно возникает вопрос о степени влияния крупных притоков на экологическое состояние озерной системы со стороны сопредельных государств. Именно с этой точки зрения важнейшей задачей является достоверная и полная оценка стока содержащихся в воде веществ по длине реки Великая. Также именно по станциям мониторинга, расположенным по длине реки Великая удалось получить наиболее полные ряды данных наблюдений за концентрациями биогенных элементов и показателями биогенного загрязнения.

Получение достоверных результатов о гидрохимическом режиме водотока невозможно без анализа особенностей территории его водосбора. Таким образом, анализ особенностей территории Псковской области может помочь более достоверно оценить особенности загрязненности реки Великая – её главной водной артерии.

Карта региона исследования с отмеченными на ней пунктами наблюдения представлена на рисунке А.1, приложение А.

1.1 Физико-географические особенности бассейна реки Великая

Общая характеристика бассейна реки.

Водосборный бассейн реки Великая расположен на Северо-западе Восточно-Европейской (Русской) равнины, в пределах Прибалтийской низменности. Средняя высота ее поверхности составляет около 110 м над

уровнем моря. Минимальная высота - урез уровня Псковско-Чудского водоема – 30 м, высшая точка - гора Лобно на Бежаницкой возвышенности – 339 м.

Бассейн реки имеет форму, напоминающую ромб, вытянутый с юга на север. Длина бассейна 207 км, средняя ширина 122 км, площадь 25200 км². Площадь бассейна распределена между право- и левобережьем реки практически поровну (52 % и 48 % соответственно).

Поверхность бассейна реки представляет собой холмистую равнину со средней высотой 119 м, расчлененную речной сетью. Верхняя часть бассейна реки Великой располагается на склонах Бежаницко-Вязовских гор и имеет конечно-моренный ландшафт с высотой водораздела 200-250 м. абс. Центральную часть бассейна занимает моренная равнина Псковско-Опочецкого плато, обладающего мелко-холмистой поверхностью с высотами 50-100 м. абс. Нижняя часть бассейна располагается на Псковско-Чудской слабоволнистой, значительно заболоченной, низменной равнине с высотой 30-50 м абс. [44].

Рельеф местности косвенно влияет на минерализацию воды, способствуя вымыванию солей из толщи пород. Глубина эрозионного вреза реки облегчает поступление в реки более минерализованных грунтовых вод нижних горизонтов [66].

Вследствие равнинности рельефа и слабой проницаемости грунтов, слагающих поверхность бассейна реки Великая, бассейн частично заболочен. Средняя заболоченность бассейна невелика и составляет в среднем 2 %. Болота сосредоточены главным образом на участках левобережных притоков. По данным государственного комитета Псковской области по Природопользованию и охране окружающей среды, средняя озёрность бассейна до деревни Пятоново составляет около 2 %, причём большинство озёр (20) приходится на верховье бассейна – озёрность здесь около 4 %.

Весь бассейн реки Великой расположен в подзоне смешанных лесов. Лес сосредоточен главным образом в верхней части бассейна. Залесенность бассейна составляет 36 %. Более значительная часть бассейна реки Великая покрыта лугами и культурными угодьями [47].

По характеру почв бассейн р. Великой относится к дерново-подзолистой почвенной подзоне южной тайги и смешанных лесов. Разнообразие природных условий, пересеченный рельеф, частая смена почвообразующих пород определяют сложность почвенного покрова. Так влажный, умеренно-прохладный климат Псковской области предопределяет промывной режим и избыточное увлажнение почв.

С развитием человеческого общества важным почвообразующим фактором в бассейне стала хозяйственная деятельность человека. Непосредственное воздействие на почвенный покров осуществляется, прежде всего, в процессе земледельческого использования почв. Обработка сельскохозяйственных угодий, внесение органических и минеральных удобрений, известкование почв, осушение приводит к изменению свойств почв в нужном для человека направлении. Вместе с тем, могут проявляться и отрицательные явления, ухудшающие свойства почв: эрозия, заболачивание, химическое загрязнение промышленными отходами.

Значительную опасность представляют процессы загрязнения почвы. В последние десятилетия возросло загрязнение почв отходами промышленности и транспорта. Через воздух и сточные воды в почву попадают свинец, медь, мышьяк, сульфиды металлов, окислы углерода и другие вредные вещества. Особенно актуальна эта проблема вблизи городов и вдоль крупных дорог. Свою долю вносит также использование химикатов - пестицидов и гербицидов, минеральных удобрений в сельском хозяйстве [15, 67, 70].

Почвы влияют на состав природных вод, обогащая их солями и органическими веществами [2, 36].

Анализ климатических особенностей региона исследования.

Бассейн реки Великой расположен в умеренном климатическом поясе, между 55° и 59° северной широты. Климат здесь характеризуется как умеренно-континентальный, влажный, смягченный сравнительной близостью Атлантического океана. Последнее обстоятельство определяет расположение

области на границе зоны переходного климата от морского к континентальному.

Величина суммарной солнечной радиации в бассейне р. Великой достигает 78 – 88 ккал на 1 см² в год. Относительно большая облачность над территорией области в течение года значительно уменьшает продолжительность солнечного сияния, которое составляет в среднем около 1700 часов в год (т. е. около 40 % от возможной продолжительности за этот период для данных широт). Время солнечного сияния на юге области (Великие Луки) составляет 1615 часов, в то время как на севере (Гдов) – 1773 часа в год. Столь заметное увеличение этого показателя в северо-западном направлении связано с уменьшением облачности. Так, на побережье Псковско-Чудского озера солнечного сияния почти на 10 % больше, чем на юге области.

В течение года преобладают южные и юго-западные ветры (16-21 % от повторяемости всех других направлений), а также юго-восточные и западные (12-16 %).

Климат имеет огромное значение для химического состава природных вод. Он, прежде всего, определяет баланс тепла и влаги, от которого зависит увлажненность местности и объем водного стока, а следовательно, и разбавление или концентрирование природных растворов и возможность растворения веществ или выпадения их в осадок [61, 82].

С климатическими условиями связано направление движения почвенных и грунтовых растворов вблизи поверхности земли. От климатических характеристик также зависят условия взаимодействия воды с породами, процесс выветривания горных пород, тип почвообразования, растительности и характер разложения последней, что в свою очередь влияет на формирование минерализации воды. Огромно влияние такой важнейшей климатической характеристики, как температура воздуха, пород, почвы и природных вод данной местности. Так известно, что скорость химических реакций изменяется в 2-3 раза при изменении температуры на 10°C. Климатические условия определяют не только количество, но и характер атмосферных осадков (дождь

или снег), их распределение в течение года, условия миграции различных элементов, промерзаемость почвы, существование многолетней мерзлоты, с чем тесно связан гидрохимический режим природных вод на поверхности земли и вблизи нее. На минерализацию и состав малорастворимых веществ влияет и замерзание воды. В аридном климате на минерализацию поверхностных и грунтовых вод решающее влияние оказывает так называемое испарительное концентрирование [2, 87].

Таким образом, влияние климата на химический состав воды настолько существенно, что часто является решающим фактором, определяющим не только минерализацию воды, но и ее химический состав. Климат создает общий фон, на котором происходит большинство процессов, влияющих на формирование химического состава природных вод.

Анализ гидрографических особенностей бассейна р. Великой.

Наиболее крупным водным объектом на территории исследуемого региона является река Великая. Длина реки – 406 км. Река Великая берет свое начало среди болот из оз. Малый Вяз на склоне Вязовских гор и впадает в южную часть озера Псковское, являющегося частью Псковско-Чудской водной системы. Русло реки Великой большей частью извилистое. На участке от истока до города Опочка, т.е. на протяжении 205 км, оно имеет ширину 20-50 м, глубину 1,0-1,5 м и скорость течения на плёсах 0,1-0,6 м/с, а на перекатах 0,8-1,7 м/с. Ниже по течению от города Опочка до д. Гоголевка преобладающая ширина русла 100-200 м при глубине в 2-3 м и скорости течения на плёсах 0,1-0,9 м/с, а на перекатах 1,0-2,5 м/сек. От д. Гоголевки до начала дельты (2-3 км от устья) преобладающая ширина русла 200-300 метров, глубина 3,5-4,0 метра, скорость течения 0,1-0,2 м/с. Дельта реки Великой представляет собой многочисленную группу рукавов и проток, образованных низкими заболоченными островами. На участке от города Опочка до города Пскова в русле реки имеется много порогов и перекатов. Грунт ложа реки на плёсах супесчаный и песчаный, на перекатах и порогах каменистый, с крупными

валунами. Высота берегов в верхнем и среднем течении 3-4 м, ниже города Остров она увеличивается до 8-10 м, а в устьевом участке до 20-25 м.

Река Великая имеет смешанный тип питания с преобладанием снегового (несколько меньше 50 % годового стока) и с почти одинаковой долей дождевого и подземного стока [44, 47].

Основная фаза в водном режиме — весеннее половодье. Начинается оно в конце марта — начале апреля. Наивысшие уровни бывают в промежуток времени от конца марта до конца апреля. Межень устанавливается в июле и продолжается до сентября, когда происходят подъемы уровней под влиянием осенних обложных дождей. Летняя межень иногда нарушается сравнительно небольшими дождевыми паводками. Наинизшие уровни воды в реке бывают в период летней межени. В это же время наблюдаются и минимальные расходы. Наибольшая годовая амплитуда колебания уровней (8,6 м) отмечена у г. Острова. Средний годовой расход Великой у д. Пятоново равен $135 \text{ м}^3/\text{сек}$, что соответствует годовому слою стока в 211 мм, или модулю стока в 6,7 л/сек с км^2 . Максимальный среднегодовой расход воды за период наблюдений приходится на 1998 год ($235 \text{ м}^3/\text{сек}$ — г. Псков, $158 \text{ м}^3/\text{сек}$ — г. Остров, $48,6 \text{ м}^3/\text{сек}$ — г. Опочка), минимальные среднегодовые расходы наблюдались в 1971 году в г. Опочка ($15,7 \text{ м}^3/\text{сек}$), в 1972 году в г. Остров ($48,3 \text{ м}^3/\text{сек}$), в 1973 году в г. Псков ($69,2 \text{ м}^3/\text{сек}$). Среднее многолетнее значение расхода воды в пункте г. Опочка равно $29,5 \text{ м}^3/\text{сек}$, что составляет примерно 30 % от расхода в пункте г. Остров. В пункте Остров среднее многолетнее значение расхода равно $93,4 \text{ м}^3/\text{сек}$, что составляет 67,5 % от расхода в городе Псков, в котором средний многолетний расход равен $139 \text{ м}^3/\text{сек}$. Большая часть стока Великой проходит весной — 54 %; сток лета низкий — 8 %, осени, напротив, повышенный — 20 %, зимы — 18 % годового [47].

Осенний ледоход вследствие спокойного течения реки бывает не ежегодно. Наблюдается он во второй половине ноября и продолжается обычно несколько дней. В некоторые годы он принимает прерывистый характер и растягивается на срок более месяца. Замерзает река в первой декаде декабря,

иногда позднее — в середине января. Вскрывается она в конце марта — начале апреля. Продолжительность весеннего ледохода в среднем около 6 дней.

Наносы, равнинный рельеф, значительная лесистость и заболоченность бассейна обуславливают слабую интенсивность эрозионных процессов. В соответствии с этим воды Великой отличаются малой мутностью, составляющей в среднем, по данным, у д. Пятоново всего 11,4 г/м³.

Наиболее крупными водотоками, впадающими в реку Великая являются: справа – Сороть и Черёха, слева – Исса, Синяя, Утроя.

Опочецкий и Красногородский районы водосбора богаты поверхностными водами. Многочисленные реки и ручьи пересекают территорию в разных направлениях, особенно в восточной половине. В целом, в двух районах имеется свыше 150 озер, не считая самых мелких. Правые притоки Великой — реки Кудка, Шесть, Алоля, протекают в пределах территории по холмистой местности. Причудливо извиваясь, они принимают многочисленные притоки в виде мелких речек и ручьев. Долины их слабо разработаны, как правило, приспособились к ложбинам стока послеледниковых вод. Прорезая моренные образования, они имеют крутые, довольно высокие берега и сильно каменистое русло. Реки Опочечского и Красногородского районов, в том числе и Великая, с успехом могут использоваться для сплава леса. Вода рек вполне пригодна для питья и хозяйственного потребления [37].

Гидрографическая сеть на территории Островского района водосбора имеет большую густоту в западной половине и меньшую — в восточной. Более крупные притоки на этой части водосбора река Великая принимает слева. Правобережье значительно беднее притоками. Здесь только одна небольшая речка Щепец и речки-ручьи Пенная, Вязовня и Врёвка. Самый восток района относится к верхней части бассейна реки Чёрехи, впадающей в реку Великую недалеко от г. Пскова. В связи с этим речные долины сравнительно хорошо выражены (с серией террас) в западной половине района и плохо в восточной, где они, едва углубив свое русло, текут среди низких заболоченных берегов. Территория Островского района характеризуется значительной

заболоченностью; местные водоразделы носят плоский характер и слабо выражены. Все реки района берут начало среди болот или протекают через крупные болотные массивы, среди которых сохраняются чистые водные поверхности в виде небольших «окон» или довольно крупных озер. Озер в районе немного. Наиболее крупное из них озеро Гороховое (около 2 кв. км), расположенное в живописной местности в 8 км к югу от г. Острова. Группа мелких, но красивых озер разбросана среди холмов Судомской возвышенности на востоке района. Все озера являются реликтами древнего озерно-ледникового периода и в настоящее время находятся в стадии зарастания. [40]

Гидрографическая сеть Псковского района водосбора относится к бассейну Псковского озера и его главной реки Великой с притоками Многа, Череха, Пскова. В северной части района расположены бассейны небольших рек: Толба, Липенка, Черная и др., впадающих непосредственно в Псковское озеро. Воды рек бассейна реки Великой и особенно северной части района отличаются коричневатым цветом и слабой мутностью. Коричневатый цвет воды в реках обусловлен растворными в воде органическими веществами. Слабая мутность воды является следствием равнинности местности, значительной облесённости и заболоченности, понижающих интенсивность эрозионных процессов. На территории района находится около 70 озер. Лишь немногие озера района по своей площади превышают 1 кв. км (Крипецкое, Щирицкое, Лудовское, Елизаровское, Большое, Долгое — на севере). Преобладают же мелкие озера (0,5-0,8 кв. км). В гидрологическом режиме территории важную роль играют болота, которые питаются не только атмосферными осадками, но и грунтовыми водами паводковых разливов. Они длительное время переувлажнены. Верхние горизонты грунтовых вод находятся неглубоко, в общем следуя за изгибами рельефа. На вершинах холмов — 5-6 м, у подошвы — 1-1,5 м, на более повышенных участках — 2 м. Однако эти неглубоко лежащие воды имеют крайне непостоянный дебит и потому используются редко. [44, 47, 80, 81]

По данным Ежегодника «Качество поверхностных вод Российской Федерации» в 2002 году вода реки Великая и её притоков по гидрохимическим показателям оценивалась 3 классом качества разрядов «а» и «б». Значения УКИЗВ менялись от 2,77 до 3,84. Вода реки Великой на всём протяжении загрязнена фенолами, нефтепродуктами, соединениями железа и меди. Максимальные концентрации нефтепродуктов, нитритного азота, соединений марганца и железа (3-5 ПДК) наблюдались в воде створов у города Псков. В пункте Опочка вода сильно загрязнена соединениями меди (21 ПДК) и фенолом (8 ПДК). Притоки реки Великая также загрязнены фенолами, соединениями железа и меди. [24]

В 2004 году на всём протяжении реки Великая качество воды оценивалось 3 классом разряда «а» как «загрязнённая». В целом для воды реки характерна загрязнённость среднего уровня соединениями железа, загрязнённость низкого уровня нефтепродуктами. Уровень загрязнённости притоков р. Великая в 2003 и 2004 годах оставался на одном уровне и оценивалась 2 классом для реки Сороть и 3 классом разряда «а» для рек Утроя, Пиуза, Пскова, Синяя, Черёха. Для большинства притоков реки Великая характерна загрязнённость воды соединениями железа, меди, марганца, нефтепродуктами. Наблюдалась неустойчивая загрязнённость воды легкоокисляемыми органическими веществами (по БПК₅). [25]

В 2006 году качество воды в реке Великая по гидрохимическим показателям оценивалось 3 классом разрядами «а» и «б», значения УКИЗВ изменялись в диапазоне 2,68-3,57. Для реки характерна загрязнённость воды трудноокисляемыми органическими веществами (по ХПК), соединениями железа, меди, марганца. По всей длине реки наблюдалась неустойчивая загрязнённость воды соединениями свинца и кадмия. Между тем, качество воды притоков реки Великая также определялось 3 классом разрядами «а» и «б». То есть по сравнению с 2004 годом качество воды в притоках реки Великая ухудшилось. Наиболее характерными загрязняющими веществами были легко- и трудноокисляемые органические вещества (по БПК₅ и ХПК), соединения

железа и меди. Река Утроя характеризовалась среднего уровня загрязнённостью нитритным азотом, а также нефтепродуктами [26].

По данным Ежегодника «Качество поверхностных вод Российской Федерации» в 2008 году по значениям УКИЗВ (2,66-3,55) вода реки Великая характеризовалась как «очень загрязнённая» и оценивалась 3 классом разряда «б». В створе ниже города Опочка – как «грязная» 4 классом разряда «а». Для р. Великая характерна загрязнённость воды трудноокисляемыми органическими веществами, соединениями марганца, меди и железа. Средний уровень загрязнённости наблюдали по нефтепродуктам, нитритному азоту. Низкий уровень загрязнения по легкоокисляемым органическим соединениям, аммонийному азоту и соединениям цинка. Качество воды в притоках реки Великая в 2007 и 2008 годах определялось 3 классом разряда «б», лишь в р. Сороть произошла смена разряда «б» на «а». Для большинства рек характерными загрязняющими веществами были трудноокисляемые органические вещества, соединения железа, меди, марганца.[26]

В 2010 г. водность реки была ниже водности 2009 г. и на уровне или незначительно выше среднемноголетней (99-115 %). По значениям УКИЗВ (2,03-3,15) вода реки Великая характеризовалась от "загрязненной" до "очень загрязненной" и оценивалась 3-м классом качества разрядами "а" в створах г. Опочка, ниже г. Остров, выше г. Псков; "б" – выше г. Остров, ниже г. Псков. Средний коэффициент комплексности изменялся по створам от 13,3 до 31,5 %. По-прежнему 5-9 ингредиентов и показателей качества воды относились к загрязняющим, среди которых выделялись характерные: трудноокисляемые органические вещества (по ХПК), соединения железа, меди, марганца, в среднем на уровне 1,4-11 ПДК. Устойчивую загрязненность воды наблюдали фенолами до 4-6 ПДК и соединениями свинца до 2,2 ПДК в створах г. Псков, неустойчивую – нефтепродуктами до 3-6 ПДК в большинстве створов р. Великая, единичную – легкоокисляемыми органическими веществами и соединениями кадмия до 1,3 ПДК в створе ниже г. Псков. Возросла почти в 9 раз в 2010 г. повторяемость высоких концентраций соединений цинка в устье

р. Великая (ниже г. Псков), максимальные концентрации не превышали 9 ПДК, средние за год составляли 1,2 ПДК. В феврале фиксировали случай высокого загрязнения воды ниже г. Остров соединениями марганца – 32 ПДК [7].

Таким образом, из рассмотренных выше ежегодных данных о состоянии воды в реке Великая и её притоках можно сделать вывод, что качество воды ухудшается. Так, на некоторых участках р. Великая уровень загрязнённости в 2008 году оценивается 4 разрядом, в то время как в предыдущие годы – 3 классом разряда «а» или «б». Что касается притоков реки Великая, то для них так же характерно общее ухудшение качества воды. Следует отметить, что перечень характерных загрязняющих веществ (ЗВ) значительно расширился как на самой реке Великая, так и на её притоках [15, 16, 26, 80, 81].

1.2 Характеристика хозяйственной деятельности в бассейне р. Великой

Численность населения Псковской области по данным Росстата составляет 656 561 чел. (2014). Плотность населения — 11,85 чел./км² (2014). Городское население — 70,78 % (2013). Численность населения города Псков 206730 человек, города Остров – 20629 человек, города Опочка – 10599 человек [42, 43, 46].

Характеристика различных отраслей промышленного производства.

Ведущей отраслью хозяйства Псковской области в настоящее время является промышленность. Промышленные предприятия размещены в области неравномерно, значительная их часть сконцентрирована в двух городах - Пскове и Великих Луках. Современную специализацию машиностроения, как и всей промышленности области, определяют электротехника и радиотехника.

Большая часть предприятий электротехнической и радиотехнической отраслей машиностроения расположена в Пскове и Великих Луках. В Псковской области производятся: реле (в Пскове и Порхове), электродвигатели

(в Пскове, Острове), аккумуляторы, реостаты, конденсаторы и резисторы (в Пскове, Острове, Дно), кабельные провода (в Пскове) и другие изделия.

В Псковском крае получило развитие производство средств связи: установок автоматической телефонной оперативной связи «Псков» и «Кристалл», мини-АТС (автоматических телефонных станций), телефонных устройств и телефонных аппаратов (Псковский и Невельский заводы АТС), аппаратуры многоканальной телефонной и телеграфной связи (Псковский завод аппаратуры дальней связи). [39, 42, 43, 46]

Ряд предприятий края производит машины для легкой, химической, лесной отраслей и промышленности строительных материалов. Псковские заводы «Псковмаш» и «Выдвиженец» делают оборудование для льнообрабатывающей, текстильной и химической (производства химических волокон) отраслей промышленности.

Почти все машиностроительные предприятия области (особенно электротехнические) производят товары народного потребления. Это холодильники, электроутюги, магнитофоны, электросоковыжималки, электромассажеры, электронасосы, пилы дисковые, лодочные моторы, радиоуправляемые игрушки, сборные теплицы и другие изделия.

Легкая и пищевая отрасли промышленности относятся к традиционным отраслям хозяйства края, использующим в основном местное сырье.

Наиболее важная отрасль легкой промышленности, вывозящая часть своей продукции, но использующая местное сельскохозяйственное сырье (лен) - льнообрабатывающая. Первичная обработка льна рассредоточена по всей территории области. Льняную пряжу производят на двух льнокомбинатах области - в Пскове и Великих Луках. [39, 42, 43, 46]

Пищевая промышленность в Псковской области представлена рядом отраслей: мукомольной, пивоваренной, хлебопекарной, мясной, молочной, плодоовощеконсервной и рыбной. Предприятия отраслей, использующих в качестве сырья зерно, встречаются повсеместно. Наиболее известное

предприятие хлебопекарной отрасли, выпускающее сухие завтраки и крекеры - «Любятово» (Псков).

Центры мясной промышленности — Псков, Великие Луки, Остров и Невель (мясокомбинаты), молочноконсервной (производство сухого молока) — Невель, плодоовощеконсервной — Гдов. Кроме того, в области есть несколько небольших маслодельных, сыроваренных и овощесушильных заводов.

Из отраслей пищевой промышленности особенно выделяются рыбная, предлагающая жителям области свежемороженую рыбу и рыбные консервы (в том числе из снетка). Центры переработки рыбы расположены на берегу Псковско-Чудского водоема — в Гдове, Круппе и Пскове. [39, 42, 43, 46]

Остальные отрасли промышленности в области имеют преимущественно региональное значение и используют в основном местное сырье.

Лесная промышленность представлена заготовкой леса и деревообработкой. Заготовка леса ведется преимущественно в северной части области (природной подзоне южной тайги). Деревообработка (производство деловой древесины, пиломатериалов, ящиков, картона и т. д.) имеет несколько центров в области - Псков, Великие Луки, Идрица, Игомель (Плюсский район), Чернево (бывшая спичечная фабрика в Гдовском районе) и другие.

Производство мебели представлено в Пскове, Великих Луках, Невеле и Середке (Псковский район).

Производство пиломатериалов вместе с добычей минерального сырья (песка, бута, гравия) относится и к другой отрасли - промышленности строительных материалов. В эту отрасль также входят: производство сборного железобетона (в Пскове, Великих Луках, Острове, Опочке), кирпича (в Пскове, Идрице, Стругах Красных).

По данным Государственного комитета Псковской области по Природопользованию и охране окружающей среды, наиболее крупным предприятием энергетической отрасли в регионе по результатам обработки и анализа государственной статистической отчетности по форме 2-ТП (Водхоз) является Филиал ОАО «ОГК-2» «Псковская ГРЭС». Данная электростанция

имеет мощность 430 МВт. В качестве топлива используется природный газ. Объем водопотребления предприятием «Псковская ГРЭС» постоянно колеблется в зависимости от объема вырабатываемой электрической энергии. [62]

Так же на территории бассейна действуют малые гидроэлектростанции. Одна из них Максютинская ГЭС, построена в 1957 и имеет мощность 1,52 МВт. Станция расположена на расстоянии 278 км от устья. Площадь зеркала водохранилища данной ГЭС 2,04 км². Вторая по величине – Шильская ГЭС введена в эксплуатацию в 1958 году и имеет мощность 1,52 МВт. Станция расположена на расстоянии 233 км от устья. Площадь зеркала водохранилища 1,47 км².

Особого внимания заслуживает Копылковская ГЭС. Её особенность заключается в аварийном состоянии гидротехнических сооружений, а также в том, что её водохранилище является крупнейшим на реке Великая и занимает по площади 12,1 км². Это связано с тем, что при строительстве в 1952 году было затоплено 4 малых озера. С 1974 года станция законсервирована.

Помимо действующих малых ГЭС на реках бассейна р. Великой существуют ранее построенные, но заброшенные в настоящее время станции. Результатом постройки таких сооружений являются малые водохранилища, расположенные в основном на крупных притоках реки Великая.

Сельское хозяйство является второй по важности отраслью специализации экономики Псковской области. Продукция сельского хозяйства, производимая в крае, поступает не только для нужд региона, но и в другие регионы России [46].

Ведущей отраслью сельского хозяйства области является животноводство молочно-мясного направления: скотоводство, свиноводство и птицеводство.

Растениеводство области представлено выращиванием льна, картофеля, овощей, зерновых и кормовых культур.

«Центральные» районы области (окружающие Псков, Великие Луки и Опочку) - зона пригородного сельского хозяйства, где в животноводстве

главенствует свиноводство, а в растениеводстве, кроме льноводства, развиты овощеводство и картофелеводство. Вокруг «центральных» районов образовались «полупериферийные» пояса сельского хозяйства. В животноводстве здесь преобладает скотоводство (разведение крупного рогатого скота) молочно-мясного направления и птицеводство (особенно в Плюсском и Островском районах). Растениеводство ориентировано на выращивание льна, зерновых и кормовых культур.

В средней части области, на наибольшем удалении от Пскова и Великих Лук, образовался «периферийный» пояс сельского хозяйства. Животноводство здесь имеет мясо-молочное направление (особенно развито овцеводство). Растениеводство отличается меньшей интенсивностью, но его специализация мало отличается от «полупериферийных» поясов: льноводство, выращивание зерновых и кормовых культур.[41, 46]

Река Великая частично используется для лесосплава. Судоходство на реке развито слабо на протяжении 34 км от устья. В нижнем течении реки Великой и на Псковско-Чудском водоеме можно увидеть много речных и озерных судов. Озерно-речной транспорт используется как для перевозки пассажиров (на судах на подводных крыльях, катерах), так и для перевозки массовых грузов. [46]

Анализ водопотребления и сброса сточных вод в реку Великая.

По состоянию на 2012 год в Псковской области по результатам обобщения государственной статистической отчетности по форме 2-ТП (Водхоз) зарегистрировано 256 предприятия-водопользователя. В 2009 году их количество составляло 423 предприятия. Такая разница в цифрах не говорит о снижении количества предприятий-водопользователей, а связана с некоторыми изменениями в нормативно-правовом регулировании в области водного права. Естественно в разные годы это количество незначительно меняется в связи с открытием новых и закрытием старых предприятий.

В поверхностные водные объекты в течение 2012 года сброшено 246,97 млн. м³ сточных вод, в том числе: загрязненных – 39,82 млн. м³ (16,1 %),

нормативно чистых – 207,15 млн. м³ (83,9 %). Предприятия ЖКХ (в первую очередь, городов Псков, Остров, Великие Луки) сбрасывают в поверхностные водные объекты свыше 95 % объема загрязненных сточных вод по области [10, 62].

Сброс недостаточно-очищенных сточных вод в р. Великую от предприятий ЖКХ городов Остров, Опочка и других, расположенных выше по течению г. Пскова не позволяет использовать воду реки Великой для питьевого водоснабжения г. Пскова без её предварительной очистки на очистных сооружениях водоснабжения с использованием коагулянтов и реагентов, что приводит к значительным энергетическим и финансовым затратам и необходимости решения вопроса об использовании на питьевое водоснабжение вод подземных источников.

В бассейне реки Великой в 2011 и 2012 годах забрано более 250 млн.м³ воды (Таблица 1.1) [10, 62]. Наибольшее потребление воды происходит для хозяйственно-питьевого водоснабжения и для нужд промышленных предприятий. Так же из таблицы 1 видно, что подавляющая часть сброшенной в поверхностные водоёмы воды является нормативно чистой. Доля неочищенных вод ничтожно мала.

Таблица 1.1 – Данные о водопотреблении и сбросе сточных вод в бассейне реки Великая за 2011 – 2012 год, млн.м³

Показатель	2011 год	2012 год
Забор воды из поверхностных вод, млн.куб.м	250,65	238,14
Использовано воды всего, млн.куб.м	266,31	254,29
В том числе на нужды:		
- хозпитьевые	25,99	24,97
- производственные	220,77	210,14
- сельхозводоснабжение	1,95	1,99
Сброшено воды в поверхностные воды, млн.куб.м	260,13	246,97
Загрязненных, из них:		
- без очистки	44,67	39,79
- недостаточно-очищенных	3,77	2,95
- нормативно чистых	40,90	36,84
	215,43	207,15

В таблице 1.2 приведены данные о сбросе конкретных ингредиентов сточных вод в поверхностные воды на территории бассейна реки Великая.

Из представленных данных видно, что в сточных водах в большом количестве содержатся соединения азота и органические вещества.

Помимо перечисленных ингредиентов, в год предприятиями одного только Пскова в канализацию поставляется: цинка – до 124 кг; никеля - до 7 кг; нефтепродуктов – 1,16 т; хрома – 3,36 кг; меди -1,94 кг [10, 62].

Таблица 1.2 – Основные изучаемые компоненты в составе сточных вод

Ингредиент	2011 год	2012 год
БПКполн, тонн	277,1	296,43
Фосфор общий, тонн	42,76	47,17
Нитраты, тонн	821,1	806,8
Азот аммонийный, тонн	32,96	29,36
Нитриты, тонн	7,66	3,76
Железо, тонн	2,79	2,87
ХПК, тонн	339	339,4

Очистные сооружения Пскова не справляются с очисткой всей массы воды, несмотря на проведенную и продолжающуюся реконструкцию. Кроме того, они не предназначены для очистки от солей тяжелых металлов. В ряде городских поселений области очистные сооружения вообще отсутствуют (Новоржев, Себеж, Струги Красные, Локня, Кунья, Усвяты, Красногородск, Плюсса, Новосокольники) [16, 80, 81].

Таким образом, в настоящее время река Великая и ее притоки испытывают на себе существенную антропогенную нагрузку, интенсивность которой не имеет тенденции к снижению.

1.3 Описание пунктов наблюдения

В работе используются данные гидрологических и гидрохимических наблюдений на реке Великая и её притоках. Всего в бассейне реки Великой имеется 7 пунктов регулярных гидрохимических наблюдений, из них 3 пункта

расположены непосредственно на реке Великой (таблица 1.3), а 4 пункта на основных её притоках (рисунок А.1, приложение А). В данной работе рассматриваются только пункты наблюдения, расположенные непосредственно на реке Великой.

Таблица 1.3 – Перечень постов наблюдений.

Река - пункт	Период наблюдений	расстояние от устья, км	S водосб., км ²	количество створов	категория пункта
Великая-г.Псков	1967-2009	4,1 25,6	24000	2	3
Великая-г.Остров	1967-2009	95 103	13400	2	4
Великая - г.Опочка	1967-2009	222 227	3500	2	4

Гидрологический пост на р. Великой у г. Опочка находится в 1,57 м ниже моста через р. Великая на правом берегу и состоит из свай, реперов и установки берегового типа для самописца уровня воды. Отметка нуля поста 81,00 м БС. Расположенная в 12 км выше поста Шильская ГЭС, оказывающая влияние на режим уровней и расходов воды, в последние годы не эксплуатируется. Пост содержит два створа, расположенных на расстоянии 5 км друг от друга. Верхний створ расположен до города Опочка на расстоянии 227 км от устья, нижний створ расположен ниже города Опочка на расстоянии 222 км от устья (таблица 1.3) [15].

Прилегающая местность – равнина, в основном занятая сельскохозяйственными угодьями, частично поросшая смешанным лесом, в понижениях заболоченная. Долина реки ясно выражена, с крутыми высокими склонами, сложенными суглинистыми и супесчаными грунтами, с правобережной поймой шириной 80-90 м, поросшей травяной растительностью и кустарником. Русло реки извилистое, песчано-каменистое, подвергается периодической деформации, зарастает водной растительностью, с крутыми, относительно высокими берегами. Средний многолетний расход воды за рассматриваемый период (1969-2002) равен 29,5 м³/сек.

Гидрологический пост Гуйтово на реке Великой находится у деревни Гуйтово в 1,5 км от г. Остров, в 3,0 км ниже железобетонного моста. Пост расположен на правом берегу, в 0,8 км выше впадения р. Щепец и состоит из свай и реперов. Отметка нуля поста 43,43 м БС. Пост содержит два створа, расположенных на расстоянии 8 км друг от друга. Верхний створ расположен выше города Остров на расстоянии 103 км от устья, а нижний створ расположен ниже города Остров на расстоянии 95 км от устья [14]. Далее в работе пост будет условно называться по названию расположенного рядом города «Остров».

Прилегающая местность представляет собой распаханную равнину. Долина реки ясно выражена, шириной до 1,0-1,5 км, с пологими склонами, занятыми сельскохозяйственными угодьями, с двухсторонней поймой. Русло реки прямолинейное, песчано-каменистое, местами заиленное, вдоль берегов зарастающее водной растительностью, с крутыми высокими берегами. Средний многолетний расход воды за рассматриваемый период (1969-2002) равен 93,4 м³/сек.

Гидрологический пост в городе Псков на р. Великая находится в 1,9 км выше впадения р. Псковы. Пост расположен на левом берегу и состоит из свай, рейки, репера, установки берегового типа для самописца уровня воды. Отметка нуля поста 29,26 м БС. До 20.02.1976 г. пост находился в 1,6 км ниже по течению от действующего в настоящее время поста [14]. Уровни находятся в подпоре от Псковского озера. Пост состоит из двух створов, расстояние между которыми 21,5 км. Верхний створ расположен выше города Пскова на расстоянии 25,6 км от устья, нижний створ расположен ниже города на расстоянии 4,1 км от устья.

Долина реки ясно выражена, с высокими крутыми склонами. Русло прямолинейное, с высокими берегами. Дно реки сложено известняком. Выше и ниже водопоста ежегодно образуются заторы льда. Средний многолетний расход воды за рассматриваемый период (1969-2001) равен 139 м³/сек.

2 Характеристика исходных данных наблюдений

В качестве исходных данных в работе использованы данные первичных наблюдений за концентрациями растворенного кислорода (O_2), аммонийного азота ($N-NH_4$), нитритного азота ($N-NO_2$), нитратного азота ($N-NO_3$), минерального фосфора ($P-PO_4$), железа общего (Fe) и показателей ХПК и БПК₅ в пунктах наблюдения Псков, Остров и Опочка на реке Великая (Таблица 1.3). Период наблюдения 1967 – 2009 годы. Также в работе были использованы данные гидрологических наблюдений, а именно наблюденные в период взятия проб на химанализ и среднегодовые значения расходов воды в пунктах Опочка, Гуйтово (Остров) и Пятоново (Псков). Таким образом, всего в работе было проанализировано 48 последовательностей значений концентраций биогенных элементов и показателей загрязненности органическими веществами.

Сеть пунктов режимных наблюдений служит для получения систематической информации об уровне загрязнения водных объектов по физическим, химическим и гидробиологическим показателям. Обработанные данные передаются органам управления и хозяйственным организациям. Основные принципы организации системы наблюдений за состоянием водных объектов в рамках Государственной Сети Наблюдений (ГСН) определены нормативными документами. Согласно пункту 4.12 РД.52.24.309-2004 к основным принципам относят:

- а) комплексность и систематичность наблюдений;
- б) согласованность сроков их проведения с характерными гидрологическими ситуациями;
- в) определение состава и свойств воды по единым или сопоставимым методикам.

Аналогичные принципы были положены в основу РД 52.24.309-92, который в настоящее время заменен на РД.52.24.309-2004.

Отбор проб для проведения режимных наблюдений за загрязнением воды водоемов и водотоков проводят в пунктах наблюдений. Под пунктом

наблюдений за состоянием поверхностных вод понимается место на водоеме или водотоке, где осуществляются работы для получения данных о составе и свойствах вод [31]. Отдельный пункт наблюдений может содержать один или несколько створов. В работе используются данные полученные на 3 пунктах наблюдений, каждый из которых имеет два створа. (Таблица 1.3) Согласно пункту 1.1 ГОСТ 17.1.3.07-82 все пункты наблюдения за качеством поверхностных вод подразделяются на четыре категории. Пункту Псков присвоена 3 категория, остальные пункты относятся к категории 4.

Первичные данные наблюдений прежде всего были проанализированы на предмет отсутствия данных в отдельные годы. Результаты проверки представлены в таблице 2.1. в таблице показаны отдельные года или периоды лет, в которые данные отсутствуют.

Таблица 2.1 – Отдельные годы и периоды лет в которые отсутствуют данные наблюдений.

Показатель	Опочка в. створ	Опочка н. створ	Остров в. створ	Остров н. створ	Псков в. створ	Псков н. створ
кислород	-	-	-	-	-	-
ХПК	-	-	-	-	-	-
БПК ₅	-	-	-	-	-	-
N-NH ₄	1968	1968	1968	1968	1968	1968
N-NO ₂	1968	1968	1968	1968	1968	1968
N-NO ₃	1968 1972-1977	1968 1972-1977	1968 1972-1977	1968 1972-1977	1972 1973 1975-1977	1968 1972-1977
P-PO ₄	до 1978	до 1978	до 1978	до 1978	до 1978	до 1978
Fe _{общ}	1968	1968	1968	1968	1968	1968

Из представленных данных видно, что в рядах концентраций растворенного кислорода и показателей ХПК и БПК₅ нет пробелов в данных, то есть эти ряды наиболее полные. Во всех остальных рядах наблюдения отсутствуют данные за 1968 год. В рядах концентраций нитратного азота отсутствуют данные наблюдения за 7 лет, в рядах концентраций минерального фосфора за 12 лет. Следует отметить, что периоды и отдельные года отсутствия

данных для каждого показателя совпадали во всех пунктах наблюдения по длине реки.

2.1 Оценка основных числовых характеристик исходных рядов наблюдений

Одной из основных теоретических основ современных методов обработки геоэкологической информации является то, что временные последовательности значений измеренных концентраций в каждом данном пункте наблюдений описываются математической моделью в виде ряда значений случайной величины [58, 72, 75, 76]. При этом, основные свойства случайной величины могут быть описаны компактно с помощью нескольких числовых характеристик (параметров распределения) [23, 48, 77].

При обработке гидрохимической информации в работе используются следующие статистические оценки числовых характеристик состояния водных объектов [56].

Среднее значение концентрации компонента химического состава воды за выбранный интервал осреднения:

$$\bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{n}, \quad (2.1)$$

где $\bar{S}$ – средняя в данном интервале концентрация вещества, S_i – измеренные в интервале осреднения концентрации j -го вещества, n – число измерений концентраций в интервале осреднения.

Среднеквадратическое отклонение (СКО) σ_x :

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}{n - 1}}, \quad (2.2)$$

где S_i – измеренные значения концентрации; $\bar{S}$ – среднее значение концентрации; n – число измерений концентрации.

Коэффициент вариации C_v :

$$C_v = \frac{\sigma_x}{\bar{S}}, \quad (2.3)$$

Коэффициент асимметрии C_s :

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^3}{(n-1) * \sigma_x^3} \quad (2.4)$$

Для симметричных распределений $C_s=0$. Асимметрия может быть положительной и отрицательной. Если математическое ожидание больше моды, то $C_s < 0$, и имеет место отрицательная асимметрия, и наоборот. При положительной асимметрии мода меньше среднего значения.

Для оценки основных особенностей исходных рядов наблюдения по формулам 2.1 – 2.4 были рассчитаны основные числовые характеристики для всех исследуемых веществ и показателей во всех створах наблюдения. Результаты представлены в таблице 2.2. Здесь n – объем выборки, среднее – среднее значение выборки, СКО – среднеквадратическое отклонение, C_v – коэффициент вариации, C_s – коэффициент асимметрии.

Как видно из представленных данных, наименьшие значения коэффициентов вариации и асимметрии характерны для рядов значений концентраций растворенного кислорода во всех створах наблюдений. Также сравнительно небольшие значения коэффициентов вариации характерны для рядов показателей ХПК и БПК₅. Для рядов значений концентраций азота аммонийного, азота нитритного, азота нитратного, фосфора минерального и железа общего значения C_v превышают единицу практически во всех створах, в некоторых створах значения близки к единице, что говорит о высокой вариативности исходных рядов наблюдений. Так значения коэффициента вариации для рядов нитритного азота превышают 2 для всех створов, кроме створа Остров (верхний створ) (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Оценка основных числовых характеристик исходных рядов наблюдений за гидрохимическим режимом реки Великая.

	Опочка в.ств.	Опочка н.ств.	Остров в.ств.	Остров н.ств.	Псков в.ств.	Псков н.ств.
растворенный кислород						
n	154	152	166	164	347	339
среднее	10,1	9,75	9,94	9,90	9,78	9,61
СКО	1,9	1,84	1,82	1,83	1,77	1,79
Cv	0,18	0,19	0,18	0,18	0,18	0,19
Cs	-0,25	-0,16	0,18	0,11	0,10	0,20
ХПК						
n	109	107	111	107	221	223
среднее	23,3	24,2	30,1	29,3	33,2	34,1
СКО	10,6	12,2	11,5	11,5	12,2	12,2
Cv	0,46	0,50	0,38	0,39	0,37	0,36
Cs	1,13	1,11	0,35	0,59	0,13	0,25
БПК ₅						
n	131	130	150	149	335	328
среднее	1,74	2,11	1,57	1,93	1,89	2,09
СКО	0,84	1,33	0,69	0,99	0,99	1,23
Cv	0,49	0,63	0,44	0,51	0,52	0,59
Cs	0,50	3,47	1,00	0,56	-0,08	2,67
азот аммонийный						
n	141	140	155	152	173	230
среднее	0,100	0,111	0,159	0,179	0,210	0,197
СКО	0,145	0,149	0,279	0,280	0,306	0,276
Cv	1,45	1,35	1,75	1,56	1,46	1,40
Cs	1,94	1,70	2,72	2,05	1,88	1,87
азот нитритный						
n	143	142	157	154	170	229
среднее	0,0035	0,011	0,005	0,007	0,006	0,012
СКО	0,0070	0,028	0,007	0,015	0,015	0,026
Cv	2,02	2,46	1,60	2,12	2,41	2,24
Cs	6,48	3,91	3,34	5,28	5,56	5,77
азот нитратный						
n	119	117	131	127	139	200
среднее	0,317	0,366	0,364	0,802	0,435	0,524
СКО	0,303	0,331	0,365	4,510	0,458	0,622
Cv	0,95	0,90	1,00	5,62	1,05	1,19
Cs	1,45	1,28	1,50	10,94	1,51	4,68
фосфор минеральный						
n	104	104	117	115	124	189
среднее	0,408	0,018	0,012	0,019	0,019	0,026
СКО	4,019	0,024	0,020	0,037	0,038	0,033
Cv	9,85	1,37	1,67	1,99	2,01	1,27
Cs	10,00	2,50	5,18	6,43	4,33	4,25
железо общее						
n	138	137	154	152	169	168
среднее	0,088	0,091	0,166	0,152	0,177	0,195
СКО	0,098	0,093	0,186	0,154	0,172	0,200
Cv	1,12	1,02	1,12	1,01	0,97	1,02
Cs	1,93	1,29	3,13	1,36	1,23	1,61

Что касается характеристики асимметричности рядов наблюдений, что из таблицы 2.2 видно, что практически для всех исследуемых веществ и показателей значения C_s превышают единицу, в некоторых случаях существенно. Например значения коэффициента асимметрии для ряда аммонийного азота в пункте Остров (верхний створ) составляет 2,72.

Обращают на себя внимание высокие значения коэффициентов асимметрии и вариации для рядов азота нитратного в пункте Остров (нижний створ) и минерального фосфора в пункте Опочка (верхний створ). Детальное изучение исходных рядов концентраций показало наличие в этих рядах, по-видимому, ошибок записи или копирования данных наблюдений. Эти экстремально завышенные величины оказывают влияние на результаты оценки и средних годовых концентраций и объемов годового стока. При дальнейших расчетах эти значения были причислены к выбросам и исключены из исходных рядов как не репрезентативные.

В общем, в результате оценки и анализа основных числовых исходных рядов наблюдения можно сделать вывод, что ряды обладают высокой вариативностью и высокой степенью асимметричности. Эти обстоятельства необходимо учитывать при дальнейшей статистической обработке рядов наблюдений.

2.2 Оценка однородности исходной информации

Современные методы обработки геоэкологической информации основываются на следующих теоретических положениях:

- 1) временные ряды измеренных значений концентраций содержащихся в воде веществ в каждом пункте наблюдений описываются моделью в виде ряда значений случайной величины;
- 2) данные ряды наблюдений являются стационарными, регулярными и однородными.

Что касается первого положения, то оно не вызывает сомнений. Однако второе положение, как было показано в проведенных ранее исследованиях не всегда выполняется.[29, 59, 63]

Данный раздел работы посвящен анализу однородности исходных рядов наблюдений.

2.2.1 Однородность по исходных рядов данных по количеству наблюдений внутри года

В зависимости от категории пункта наблюдения устанавливается программа гидрохимических наблюдений. Для пунктов 3 категории устанавливается обязательная программа, которая проводится в основные фазы водного режима и сокращённая программа 3, которая должна выполняться ежемесячно. Для пунктов 4 категории устанавливается только обязательная программа, выполняемая в основные фазы водного режима [1, 11]. Согласно основным нормативным документам, в обязательную программу входит измерение расхода воды, измерение содержания растворённого кислорода, измерение БПК₅ и ХПК, а также концентраций аммонийных, нитритных и нитратных ионов, общего железа и фосфатных ионов и других компонентов [18, 19]. Таким образом, можно сделать вывод, что все исследуемые в данной работе показатели входят в перечень измерений по обязательной программе.

Согласно пункту 5.4.7 РД.52.24.309-2004 наблюдения по обязательной программе на большинстве водотоков осуществляются семь раз в год: во время половодья — на подъеме, пике и спаде, во время летней межени — при наименьшем расходе и при прохождении дождевого паводка, осенью перед ледоставом и во время зимней межени [12, 34, 50].

Исследование исходных рядов наблюдений показало, что количество измерений значений концентраций в действительности варьируется от 1 до 12 в год вне зависимости от категории пункта наблюдения. При этом во всех пунктах наблюдения по всем концентрациям, кроме растворенного кислорода и

показателя БПК₅, отбиралось преимущественно 4 пробы в год. На рисунке 2.1 в качестве примера представлено количество отбора проб воды на химический анализ в год для пункта Псков (верхний створ).

Из рисунка видно, что 12 раз в год пробы отбирались только для концентраций кислорода с конца 1980-х годов и для показателя ХПК с начала 2000-х годов. В подавляющем большинстве случаев пробы отбирались 4 раза в год.

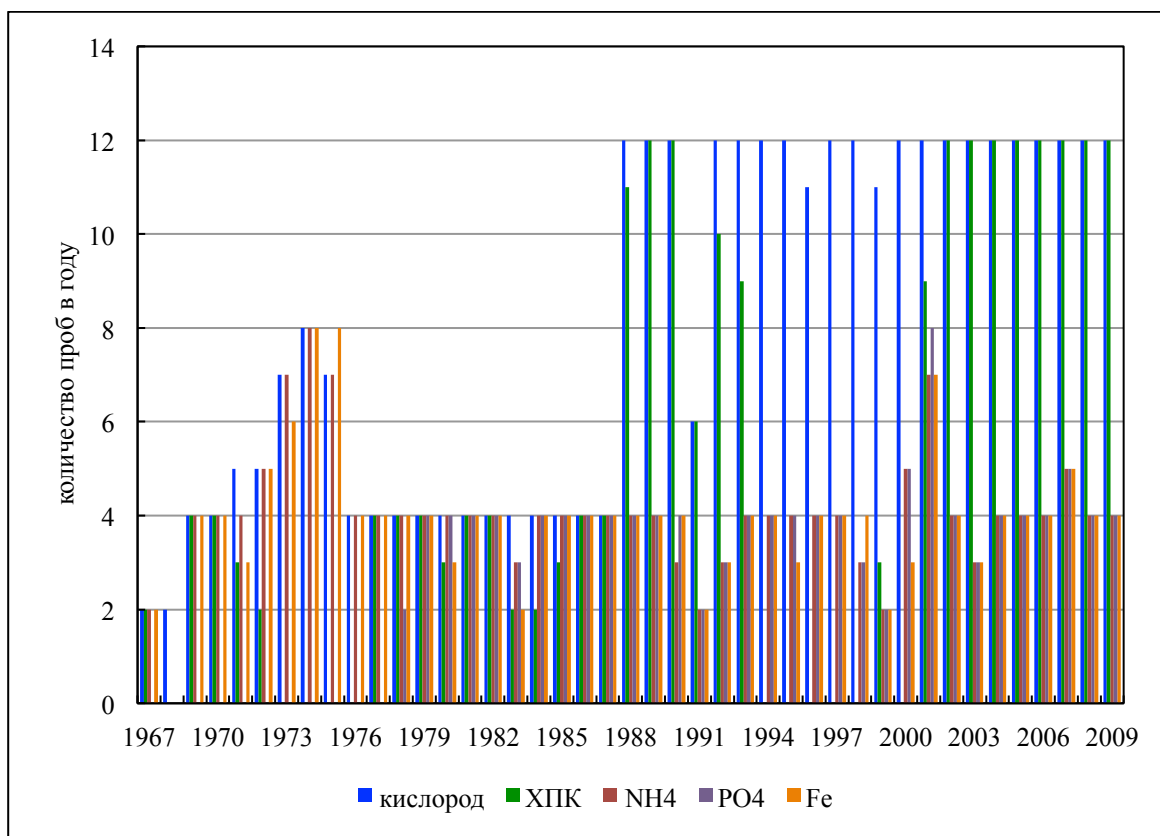


Рисунок 2.1 – Количество проб в году, отобранных для показателя ХПК, концентраций растворенного кислорода, аммонийного азота, минерального фосфора и общего железа в пункте Псков (верхний створ).

Также вывод о неоднородности исходных данных по числу измерений в году можно сделать по анализу общей продолжительности рядов наблюдений, представленных в таблице 2.2. Из представленных данных видно, что общий объем выборки зачастую отличается на верхнем и нижнем створе одного пункта наблюдения, иногда значительно. Например, для азота аммонийного в

пункте Псков объем выборки в верхнем створе составляет 173 значения, а в нижнем створе 230 значений. Если бы количество наблюдений внутри года на верхнем и нижнем створе полностью совпадало, то и объем выборки был бы одинаковым. Однако практически во всех случаях мы видим различие в объеме выборки не только в соседних пунктах наблюдения, но и в соседних створах одного пункта. Это обстоятельство существенно затрудняет адекватную оценку пространственной динамики загрязнения и анализ корреляционных связей значений концентраций в соседних створах.

Из всего выше сказанного следует, что представленные ряды не однородны по числу измерений внутри года. Как показано ранее [28] это обстоятельство может в какой то степени повлиять на результаты расчетов по гидрохимическим данным.

2.2.2 Неэквидистентность исходной информации

Как уже отмечалось ранее, исходные ряды должны являться регулярными, то есть временные интервалы между отборами проб внутри года должны быть одинаковыми. Однако, ранее в диссертационном исследовании Смыжовой Е.С. было показано, что исходные ряды концентраций могут быть неэквидистентными, то есть нерегулярными во времени [5].

Причина нерегулярности наблюдений кроется в самих требованиях РД 52.24.309-2004 к периодичности отбора проб. Как уже указывалось ранее, в соответствии с руководящим документом пробы необходимо отбирать в основные фазы водного режима, продолжительность и время наступления которых в силу естественных причин меняется год от года [13, 49, 50]. Таким образом, априори все ряды наблюдений за гидрохимическими показателями являются неэквидистентными, т.е. измерения не являются равноудалёнными во времени. Другой причиной нерегулярности наблюдений, может быть не менее важной, является пропуск в наблюдениях и изменений сроков наблюдений по той или иной причине.

Для подтверждения неэквидистентности исходных рядов наблюдений были рассмотрены изменения временных интервалов между измерениями при одинаковом числе проб в год. Для оценки изменений интервалов между измерениями по имеющимся рядам наблюдения был произведен расчет средних дат отбора 1-ой, 2-ой и т. д. проб при разном количестве наблюдений в году. В нашем случае это 4, 5, 7 и 12 проб в пункте Псков, 3 и 4 в пунктах Остров и Опочка. Для того, чтобы определить изменчивость дат отбора проб в разные годы, были рассчитаны средняя многолетняя дата и среднеквадратическое отклонение даты отбора проб от среднего многолетнего значения, а также определены максимальные отклонения дат отбора проб воды от средней многолетней даты. В качестве примера в таблице 2.3 представлены результаты расчета для пункта Псков.

Таблица 2.3 – Результаты оценки средней даты отбора пробы воды на химический анализ в пункте Псков.

число проб	средняя дата	СКО даты (дней)	Максимальное отклонение (дней)
4	3 марта	19	129
	23 апр.	18	116
	9 авг.	22	107
	22 окт.	24	146
5	11 февр.	21	26
	25 марта	20	26
	6 мая	32	45
	9 июля	20	43
	6 окт.	47	101
7	18 февр.	33	47
	18 марта	19	20
	27 апр.	34	34
	9 июня	49	53
	27 июля	56	58
	29 сент.	26	29
	21 нояб.	29	35

Таблица 2.3 (продолжение)

число проб	средняя дата	СКО даты (дней)	Максимальное отклонение (дней)
12	18 февр.	20	57
	15 марта	12	32
	11 апр.	6	16
	12 мая	9	17
	14 июня	6	9
	17 июля	6	13
	19 авг.	6	12
	11 сент.	8	16
	13 окт.	10	18
	19 нояб.	8	11
	10 дек.	10	15

Из представленных данных видно, что среднеквадратические отклонения дат отбора проб варьируют от 6 до 56 дней, а максимальные отклонения могут достигать до 146 дней. Таким образом можно сделать вывод, что исходные ряды наблюдений являются не регулярными или неэквидистентными, то есть временные интервалы, которые освещает каждый член ряда не одинаковы.

2.2.3 Оценка однородности рядов наблюдений по критерию Стьюдента и Фишера

Если в качестве математической модели для описания статистической структуры гидрохимических рядов рассматривать случайную величину, то статистические характеристики ряда не должны изменяться, т.е. все элементы данной выборки должны относиться к одной генеральной совокупности. По сути это эквивалентно предположению о неизменности условий формирования химического состава природных вод. Если в результате природных катаклизмов или антропогенной деятельности условия формирования состава природных вод изменятся, то это неминуемо приведет к изменению статистических характеристик ряда, например, среднего или дисперсии. [5, 17]

Если статистические характеристики отдельных частей ряда существенно отличаются, то такой ряд является неоднородным (нестационарным). При этом

надо иметь в виду, что изменение условий формирования стока может сказаться на одних характеристиках стока и почти не отразиться на других.

Статистические методы анализа гидрохимических данных, применяемые в современных методиках оценки качества вод, применимы только к однородным рядам, поэтому перед проведением любых статистических расчетов необходимо осуществить проверку однородности исходных рядов значений концентраций. [75, 79]

Для проверки однородности гидрохимических рядов используются критерии двух типов: параметрические и непараметрические. В параметрических критериях при построении анализируемой статистики используют выборочные оценки параметров распределения. При этом считается, что исходная выборка относится к генеральной совокупности с известным типом распределения (как правило, принимается нормальный закон распределения). Непараметрические критерии базируются на использовании непараметрических статистик. В данной работе были применены параметрические критерии Стьюдента и Фишера.[17, 48]

Критерий Стьюдента для проверки значимости различия средних значений двух выборок основан на нулевой гипотезе [77]:

$$H_0: m_{x1}=m_{x2} \quad (2.5)$$

Оценка среднего значения производится при помощи статистики t , являющейся нормированным отклонением выборочного среднего, от математического ожидания m_x

$$t = \frac{m_{x1} - m_{x2}}{\sigma^*} * \sqrt{\frac{(n_1 - 1) * (n_2 - 1)}{(n_1 - 1) + (n_2 - 1)}} \quad (2.6)$$

где:

$$\sigma^* = \sqrt{\frac{((n_1 - 1) * \sigma_1^2 + (n_2 - 1) * \sigma_2^2)}{(n_1 - 1) + (n_2 - 1)}} \quad (2.7)$$

m_{x1} , m_{x2} - среднее значение по 1-ой и 2-ой выборкам, σ_1 , σ_2 - оценка среднеквадратического отклонения по 1-ой и 2-ой выборкам, n_1 , n_2 - объем 1-ой и 2-ой выборок.

Математическое ожидание статистики t и ее среднеквадратическое отклонение равны соответственно 0 и 1. Распределение статистики t подчиняется при некоторых условиях закону t -распределения Стьюдента.

Обычно вопрос о значимости решается с помощью таблицы значений t , соответствующих данному уровню значимости α при данном числе степеней свободы $\nu = n_1 + n_2 - 2$. В данной работе используется двусторонний уровень значимости $2\alpha = 10\%$.

Критерий Фишера основан на нулевой гипотезе о равенстве дисперсий двух выборок вида [48]:

$$H_0: D_{x1} = D_{x2} \quad (2.8)$$

Критерий Фишера F рассчитывается по формуле:

$$\hat{F} = \hat{D}_1 / \hat{D}_2, \quad (2.9)$$

где $\hat{D}_1$ и $\hat{D}_2$ – оценки дисперсии по первой и второй выборке, $\hat{D}_1 > \hat{D}_2$.

Затем значение F сравнивается с F -критическим при двустороннем уровне значимости $2\alpha = 10\%$ и числах степеней свободы $\nu_1 = n_1 - 1$ и $\nu_2 = n_2 - 1$.

В общем при использовании двух критериев однородности ряд значений концентраций может считаться скорее однородным, если по двум критериям гипотеза об однородности не опровергалась. Если хотя бы по одному из критериев гипотеза опровергалась, то ряд считался неоднородным.

В данной работе оценка однородности по критериям Стьюдента и Фишера проводилась при помощи программного пакета *StokStat 2.0*. Результаты оценки представлены в таблице 2.4.

Из представленных данных видно, что всего по 15 рядам из 48 (31 %) гипотеза однородности не опровергается как по критерию Стьюдента, так и по критерию Фишера. И 33 ряда из 48 (69 %) не однородны хотя бы по одному из критериев, из них 18 рядов неоднородны сразу по обоим критериям.

Таблица 2.4 – Результаты оценки гипотезы об однородности исходных рядов наблюдений по критериям Фишера и Стьюдента.

Показатель	критерий	Опочка - в. створ	Опочка - н. створ	Остров - в. створ	Остров - н. створ	Псков - в. створ	Псков - н. створ
Кислород	Фишера	не опровергается	не опровергается	не опровергается	не опровергается	не опровергается	не опровергается
	Стьюдента	не опровергается	не опровергается	не опровергается	не опровергается	не опровергается	не опровергается
ХПК	Фишера	не опровергается	опровергается	не опровергается	не опровергается	не опровергается	не опровергается
	Стьюдента	не опровергается	опровергается	опровергается	опровергается	опровергается	опровергается
БПК ₅	Фишера	не опровергается	опровергается	не опровергается	опровергается	опровергается	опровергается
	Стьюдента	опровергается	опровергается	не опровергается	опровергается	опровергается	опровергается
Аммонийный азот	Фишера	опровергается	опровергается	опровергается	опровергается	опровергается	опровергается
	Стьюдента	опровергается	опровергается	опровергается	опровергается	опровергается	опровергается
Нитритный азот	Фишера	опровергается	опровергается	опровергается	опровергается	опровергается	опровергается
	Стьюдента	не опровергается	опровергается	не опровергается	опровергается	не опровергается	не опровергается
Нитратный азот	Фишера	не опровергается	не опровергается	не опровергается	не опровергается	не опровергается	не опровергается
	Стьюдента	не опровергается	не опровергается	не опровергается	не опровергается	не опровергается	не опровергается
Фосфор минеральный	Фишера	опровергается	не опровергается	опровергается	опровергается	не опровергается	опровергается
	Стьюдента	не опровергается	не опровергается	не опровергается	не опровергается	не опровергается	опровергается
Железо общее	Фишера	опровергается	опровергается	опровергается	опровергается	опровергается	не опровергается
	Стьюдента	опровергается	опровергается	опровергается	опровергается	не опровергается	не опровергается

Если рассматривать критерии Стьюдента и Фишера по отдельности, то видно, что по критерию Стьюдента гипотеза однородности не опровергается по 24 рядам из 48. По критерию Фишера не опровергается по 21 ряду из 48. То есть, при использовании любого из критериев более половины рядов являются неоднородными.

Как следует из данных, представленных в таблице 2.4 видно, для всех рядов концентраций растворенного кислорода гипотеза однородности не опровергается по обоим критериям. Ряды концентраций нитратного азота не однородны по обоим двум критериям, только в пункте Псков. Ряды концентраций аммонийного азота неоднородны по двум критериям во всех пунктах наблюдений. Ряды концентраций Железа общего неоднородны по двум критериям во всех пунктах, кроме пункта Псков. Значения показателя БПК₅ однородны хотя бы по одному из критериев в пунктах Опочка (верхний створ) и Остров (нижний створ).

2.3 Оценка стационарности рядов наблюдений

Стационарность процессов (характеристика процессов) и однородность имеющегося ряда наблюдений (качество наблюдений), как уже отмечалось, контролируются одинаковыми статистическими показателями, и различие их может констатироваться только на основе физического анализа.[77]

В некоторых случаях нестационарность процесса может определяться наличием тренда. В геоэкологической практике трендом называется медленное, постепенное изменение случайной переменной X в течение анализируемого периода. Иногда тренд является частью колебаний с периодами, длительность которых сравнима с продолжительностью периода наблюдений. В некоторых случаях продолжительность такого тренда может превышать имеющуюся продолжительность наблюдений.[27]

Для оценки наличия тренда обычно используется коэффициент корреляции рассматриваемого ряда X со временем или порядковым номером членов ряда наблюдений или критерий Спирмэна.[5, 17, 77]

В данной работе в качестве метода оценки наличия тренда применялась методика оценки тренда по коэффициенту корреляции. Данная методика основана на оценке нулевой гипотезы о значимости коэффициента корреляции:

$$H_0: r=0 \quad (2.10)$$

Для оценки тренда используется формула коэффициента корреляции

$$r_{xi} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(i - \bar{i}) / [(n-1)\sigma_x \sigma_i], \quad (2.11)$$

где i —порядковый номер члена ряда; $\bar{i} = n(n+1)/2$; σ_x , σ_i — средние квадратические отклонения ряда X и порядковых номеров i . [48]

Если значение r_{xi} окажется значимым, то гипотеза 2.10 опровергается и для ряда значений очевидно наличие тренда.

Для расчета критического значения коэффициента корреляции используется формула:

$$\hat{r} = 1,69 * \sqrt{1/n}. \quad (2.12)$$

По знаку коэффициента корреляции определяется направление корреляционной связи: прямая ($r>0$) или обратная ($r<0$) и, как следствие, делается вывод о направлении тренда.

В данной работе проводился расчет и оценка коэффициента корреляции для всех рядов наблюдений. Результаты оценки стационарности рядов наблюдений представлены в таблице 2.5. Здесь знаки «+» и «-» указывают на положительное и отрицательное направление тренда соответственно.

Таблица 2.5 – Результаты оценки гипотезы о стационарности исходных рядов наблюдений.

показатель	Опочка – в. створ	Опочка – н. створ	Остров – в. створ	Остров – н. створ	Псков – в. створ	Псков – н. створ
Кислород	опроверг. -	не опроверг.	опроверг. -	не опроверг.	опроверг. -	не опроверг.
ХПК	опроверг. +	опроверг. +	опроверг. +	опроверг. +	опроверг. +	опроверг. +
БПК ₅	не опроверг.	опроверг. -	не опроверг.	опроверг. -	опроверг. -	опроверг. -
Аммонийный азот	опроверг. -	опроверг. -	опроверг. -	опроверг. -	опроверг. -	опроверг. -
Нитритный азот	опроверг. -	не опроверг.	не опроверг.	опроверг. -	опроверг. -	не опроверг.
Нитратный азот	опроверг. +	опроверг. +	опроверг. +	опроверг. +	опроверг. +	не опроверг.
Железо общее	опроверг. +	опроверг. +	опроверг. +	опроверг. +	опроверг. +	опроверг. +
Фосфор минеральный	не опроверг.	опроверг. -	не опроверг.	не опроверг.	не опроверг.	не опроверг.

Из представленных в таблице 2.5 данных видно, что стационарны 14 рядов из 48 (29 %). Не стационарны с трендом на повышение 17 рядов, с трендом на понижение – 17 рядов. Таким образом мы видим, что 34 ряда из 48 (71 %) не стационарны, то есть не удовлетворяют базовым теоретическим положениям, лежащим в основе методов обработки гидрохимических рядов.

Видно, что ряды значений ХПК и концентраций железа общего не стационарны и имеют тренд на повышение во всех пунктах наблюдений. Ряды концентраций нитратного азота также имеют тренд на повышение во всех пунктах наблюдений, кроме пункта Псков (нижний створ). Ряды концентраций азота аммонийного имеют тренд на понижение во всех исследуемых пунктах наблюдений. Ряды концентраций железа общего стационарны практически во всех пунктах наблюдений, кроме пункта Опочка (нижний створ).

В результате анализа особенностей исходных данных показал, что:

- 1) Измеренные значения концентраций характеризуются высокой вариативностью и высокой степенью асимметрии относительно математического ожидания.
- 2) Ряды значений концентраций неоднородны по числу измерений внутри года. Количество случаев отбора проб колеблется от 1 до 12 внутри года.
- 3) Ряды значений концентраций не являются эквидистентными, то есть временной интервал, который освещает каждый член ряда не одинаковый.
- 4) Оценка однородности по критериям Стьюдента и Фишера показала, что 69 % всех исследуемых рядов не однородны.
- 5) Оценка наличия тренда в исходных рядах наблюдений показала, что 71 % рядов не стационарны, в половине из них имеет место тренд на увеличение, в половине – на уменьшение значений.
- 6) Практически все ряды наблюдений не соответствуют основным теоретическим положениям, которые лежат в основе методов обработки и анализа гидрохимических рядов наблюдений. Таким образом, для дальнейшей обработки данных наблюдений необходимо применять совокупность теоретических методов, специально разработанных для таких рядов.

3 Оценка выбросов в исходных рядах данных наблюдений

Оценка экстремальных уровней загрязненности водных объектов является важнейшим разделом в оценке общего состояния водотока. Именно изучение и анализ генезиса экстремальных значений концентраций в исходных рядах наблюдений позволяет оценить истинную загрязненность водотока в условиях постоянного антропогенного воздействия. Кроме того экстремальные значения концентраций, или так называемые выбросы, играют важную роль в оценке экологического риска.

Ранее в научных исследованиях Шелутко В.А. и Смыжовой Е.С. было показано, что режим загрязненности водного объекта складывается из трёх групп факторов [58, 65, 74].

- 1) Регулярное и постоянное воздействие человеческой деятельности.
- 2) Аварийные сбросы загрязняющих веществ.
- 3) Неблагоприятные гидрометеорологические явления.

Первая группа факторов определяет общий режим загрязнения водного объекта, а факторы 2 и 3 группы часто определяют появление в исходных рядах наблюдений экстремальных значений или т.н. выбросов. Таким образом, можно с достаточной степенью уверенности утверждать, что ряды наблюдений при исключении выбросов описывают процесс загрязнения речного стока при регулярном и постоянном антропогенном воздействии, когда все предприятия-водопользователи в бассейне рассматриваемой реки работают по заданному графику в нормальном режиме. В свою очередь выбросы, скорее всего, отражают поступление загрязняющих веществ в каких-то экстремальных условиях, чаще всего связанных с аварийными сбросами предприятий или стоком веществ с территории речного бассейна в экстремальных гидрометеорологических условиях. Продолжительность таких аварийных сбросов, как правило, незначительна, поэтому включение их в расчеты среднегодовых и средних многолетних концентраций наряду с основными данными, не правомерно. [58, 64, 65]

Исключение выбросов из исходных рядов наблюдений до проведения на их основе каких-либо расчетов позволяет получить достоверную информацию о режиме загрязненности водотока. Достоверная информация о состоянии водотока в свою очередь позволяет принимать более взвешенные экологически значимые решения и планировать природоохранную деятельность на территории всего водосбора реки. Понимание генезиса появления выбросов необходимо для анализа и предотвращения развития негативных последствий от экстремального загрязнения для окружающей природной среды.[69, 74]

Данная глава диссертации посвящена выбору оптимального закона распределения для описания исходных рядов наблюдений за содержанием в воде биогенных элементов, а также оценке выбросов в рядах наблюдений с использованием различных методик.

3.1 Анализ законов распределения исходных рядов наблюдений

3.1.1 Теоретические основы выбора оптимального закона распределения

Для решения задач экстраполяции кривых обеспеченности, построенных по эмпирическим данным наблюдений, в верхней и нижней части, выполняется анализ законов распределения случайной величины.

Обычно в качестве основы при выборе закона распределения исходного ряда используются эмпирические кривые обеспеченности. В нашей стране в гидрологических исследованиях расчёт координат эмпирической кривой обеспеченности производится по формуле Крицкого - Менкеля:

$$P = \frac{m}{(n+1)} * 100, \% , \quad (3.1)$$

где: m – ранговый номер, n – общее количество значений в объединённом ряду [48, 77].

Выбор законов распределения производился на основе численных экспериментов путем подбора теоретического закона распределения наилучшим образом согласующегося с эмпирическими данными.

Из множества известных законов распределения наибольшее распространение в гидроэкологии получили: нормальный, Пирсона III типа, Крицкого-Менкеля, логарифмически-нормальный, Гамбела, S_w Джонсона. Рассмотрим кратко особенности этих законов.

Плотность вероятности Y нормального закона распределения описывается формулой

$$y = 1/\sigma_x/(2\pi)^{0,5} \exp[-(x-m_x)^2/(2 \sigma_x^2)], \quad (3.2)$$

где: m_x – математическое ожидание ряда X , σ_x – среднеквадратическое отклонение ряда X .

Коэффициент асимметрии нормального закона равен нулю и, следовательно, он является симметричным. Возможные изменения величины X лежат в пределах от $-\infty$ до $+\infty$. Следует отметить, что указанные свойства нормального закона распределения не соответствуют свойствам анализируемых нами рядов значений концентраций, нижний предел которых всегда больше или равен нулю. То есть, ряды значений концентраций как правило асимметричны.

Впервые нормальный закон распределения был разработан для оценки погрешностей измерений. На этой основе он получил наибольшее распространение во многих отраслях науки и техники, в том числе, в прикладной экологии, где он и в настоящее время широко используется для оценки точности расчетов числовых характеристик и определения их доверительных интервалов.

Закон распределения Пирсона III типа предназначен для описания рядов существенно положительных величин ($0 \leq x < \infty$). В связи с тем, что большинство рядов мониторинговых наблюдений всегда положительны, данный закон распределения получил достаточно широкое распространение в гидрологии и геоэкологии [54]. Формула плотности вероятности закона распределения Пирсона III-его типа Y обычно выражается через гамма функцию:

$$y = \alpha^\beta / \Gamma(\alpha) e^{-\beta z} z^{\alpha-1}, \quad (3.3)$$

где: z – отклонение от моды распределения, d – расстояние от математического ожидания до моды (радиус асимметрии). Параметры z и d даются в модульных коэффициентах. Коэффициенты α и β определяются по формулам:

$$\alpha = 4 / C_s^2, \quad \beta = 2 / C_s / C_v, \quad (3.4)$$

где: C_s – коэффициент асимметрии, C_v – коэффициент вариации. Необходимым условием применения закона распределения Пирсона III-его типа является условие

$$C_s \geq 2C_v / (1 - k_{\min}), \quad (3.5)$$

где: $k_{\min}$ – минимально возможное значение модульного коэффициента. При несоблюдении этого условия возможно получение отрицательных значений рассматриваемой величины, что в данном случае противоречит физическому смыслу.

Закон распределения Крицкого-Менкеля или иначе трехпараметрическое гамма распределение, был предназначен при его разработке для расчета экстремальных значений стока при $C_s < 2C_v$. В настоящее время он получил широкое распространение в инженерной гидрологии. Закон основан на модификации кривой распределения Пирсона III-его типа при $C_s = 2C_v$ путем трансформации исходного признака распределения z . С этой целью в уравнение (2.12) при $C_s = 2C_v$ вместо z была введена переменная U , связанная с Z следующим соотношением

$$u = (z/a)^{1/b}, \quad (3.6)$$

где: a и b – параметры, зависящие от C_s и C_v .

Для вероятностного описания и расчета метеорологических, гидрологических и гидрохимических величин, которым свойственна повышенная асимметрия (максимальный сток, осадки, максимальные концентрации растворенных веществ), нередко применяется логарифмически

нормальное распределение.

Суть данного закона распределения заключается в преобразовании всех членов ряда наблюдений X . При этом, если значения исходного ряда $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ имели область изменения от 0 до ∞ ($0 \leq x < \infty$), (такой ряд заведомо асимметричен, так как изменения ниже нормы ограничены нулём, а выше нормы неограниченны), то преобразованные значения $u = \ln X$; будут уже находиться в пределах от $-\infty$ до ∞ , то есть область существования будет приближаться к нормальному закону распределения.

Такой подход весьма прост в техническом отношении и обладает важным принципиальным достоинством: он позволяет использовать весь арсенал достаточно хорошо разработанных методических средств нормального закона. В то же время подобный подход неудобен тем, что при проведении анализа приходится пользоваться логарифмическим языком. Кроме того, многие процессы заведомо не могут принимать нулевые значения и в этом случае предположение о симметричности распределения не оправдано. Для учета этого обстоятельства было рекомендовано определять минимальное возможное значение путем оптимизации на определенный критерий качества.

За рубежом (главным образом во Франции и франкоязычных странах) в практике расчетов экстремальных значений широкое распространение получили кривые обеспеченности Гамбела, основанные на законах распределения крайних членов выборки.

$$F(x) = \exp[-\exp(-y)], \quad (3.7)$$

где: $F(x)$ – функция распределения; y – нормированное отклонение от моды, связанное с x соотношением

$$y = \alpha (x - q). \quad (3.8)$$

При использовании кривых обеспеченности Гамбела для расчетов экстремальных значений параметров состояния водных объектов необходимо

иметь в виду, что при выводе формулы функции распределения были приняты следующие допущения:

- Отдельные значения каждой случайной величины $X_i (i = 1, 2, \dots, n)$ взаимно независимы.
- Функции распределения суточных значений изучаемого параметра в каждом году одинаковы и имеют экспоненциальный характер.

Указанные допущения, принимаемые при применении функции распределения Гамбела для рядов значений гидрометеорологических процессов, вряд ли можно считать достаточно обоснованными с физической точки зрения.

Преобразование Джонсона заключается в нахождении эмпирического распределения путем преобразования нормированной нормально распределенной случайной величины. Преимущество такого преобразования состоит в том, что оценки обеспеченности в этом случае можно получить на основе нормального закона распределения.

Из семейства кривых распределения Джонсона в практике гидрологических исследований более часто используется распределение, основанное на S_w преобразовании (распределение S_w Джонсона)

$$\tau = \ln[(X-a)/(b-X)], \quad (3.9)$$

где: a и b – соответственно нижняя и верхняя граница случайной величины X .

Плотность распределения Джонсона для случая величин, ограниченных с двух сторон можно записать в следующем виде:

$$f(x) = (b-a) / ((\sigma_\tau \sqrt{2\pi})(x-a)(b-x)) \times e^{\left(-\frac{1}{2\sigma_\tau^2} ((\ln(x-a)/(b-x))) - m_\tau^2 \right)} \quad (3.10)$$

Такой вид распределения S_w Джонсона наилучшим образом подходит для описания рядов мониторинговых наблюдений за параметрами состояния

водных объектов, так как в данном случае вводится ограничение для максимального и минимального значения ряда, что соответствует реальному положению [31].

Выбор законов распределения в данной работе производился на основе численных экспериментов путем подбора теоретического закона распределения, наилучшим образом согласующегося с эмпирическими данными. Для оценки согласия выбранных законов распределения с данными наблюдений использовался критерий согласия Крамера – Мизеса – Смирнова $n\omega^2$ [77].

Критерий согласия $n\omega^2$ основывается на учете расхождения эмпирической и теоретической кривых обеспеченностей:

$$n\omega^2 = 1/(12n) + \sum_{i=1}^m \left(\hat{P}_i - P_i \right)^2, \quad (3.11)$$

где: $\hat{P}_i$ – эмпирическая обеспеченность i -го члена ряда, P_i – значение обеспеченности i -го члена ряда по предполагаемой теоретической кривой обеспеченности.

Если рассчитанное значение $n\hat{\omega}^2$ превосходит критическое значение $n\omega^2$ (для уровня значимости $\alpha=5\%$ критическое значение критерия $n\omega^2$ равняется 0,4614), то нулевая гипотеза о равенстве теоретической и эмпирической кривых обеспеченности опровергается и выбранный закон распределения не согласуется с имеющимися эмпирическими данными.

Следует отметить, что данный критерий согласия является наиболее трудоемким среди прочих, однако это компенсируется более полным использованием информации об исходных рядах наблюдения.[17]

3.1.2 Результаты

Выбор законов распределения производился на основе численных экспериментов путем подбора теоретического закона распределения наилучшим образом согласующегося с эмпирическими данными.

Для выбора оптимального из перечисленных законов распределения проводились численные эксперименты с использованием прикладного программного пакета GIDSTAT 2.0, разработанного на кафедре Прикладной экологии, и заключались в расчете и сопоставлении критериев $n\omega^2$ рассматриваемых законов распределения по каждому ряду наблюдений.

В результате для всех рассматриваемых в работе рядов измеренных значений концентраций были подобраны оптимальные законы распределения. Результаты представлены в таблице 3.1. Из представленных данных видно, что в большинстве случаев оптимальным законом распределения для рядов измеренных значений концентраций является закон Пирсона III типа – 28 случаев из 48 (58 % случаев). Закон Джонсона в 11 случаях из 48 (23 %) является оптимальным. Законы Крицкого-Менкеля и Гамбела являются оптимальными лишь в 5 и 3 случаях из 48 соответственно. В одном случае, для ряда значений ХПК в пункте Опочка нижний створ, оптимальным выбран логарифмически-нормальный закон распределения. Нормальный закон распределения не является оптимальным ни в одном случае. Полученные результаты полностью согласовываются с проведенными ранее исследованиями [58, 63, 54].

В таблице 3.2 представлены значения критерия согласия $n\omega^2$ для подобранных оптимальных теоретических законов. Здесь в таблице даны значения критерия в процентном выражении, то есть критическим значением для такого представления можно считать значение 46,14 %. Как видно из представленных данных, для всех рядов концентраций оценки критерия согласия, полученные для наиболее подходящего из всех закона распределения, ниже критического значения 46,14. То есть, можно сказать, что для таких рядов измеренных значений концентраций гипотеза о равенстве теоретических и эмпирических кривых обеспеченности не опровергается с вероятностью 95 %.

Таблица 3.1 - Результаты подбора оптимальных теоретических законов распределения для рядов измеренных значений концентраций.

пункт наблюдения	Кислород	БПК ₅	ХПК	Аммонийный азот	Нитратный азот	Нитритный азот	Общее Железо	Минеральный Фосфор
Опочка в.с.	Джонсона	Пирсона	Крицкого- Менкеля	Пирсона	Пирсона	Гамбела	Пирсона	Пирсона
Опочкан.с.	Джонсона	Пирсона	Логарифм.- нормальный	Пирсона	Пирсона	Пирсона	Пирсона	Пирсона
Островв.с.	Джонсона	Крицкого- Менкеля	Джонсона	Пирсона	Пирсона	Пирсона	Пирсона	Пирсона
Остров н.с.	Джонсона	Крицкого- Менкеля	Джонсона	Пирсона	Пирсона	Гамбела	Пирсона	Пирсона
Псков в.с.	Джонсона	Крицкого- Менкеля	Джонсона	Пирсона	Пирсона	Гамбела	Пирсона	Пирсона
Псков н.с.	Джонсона	Джонсона	Джонсона	Пирсона	Крицкого- Менкеля	Пирсона	Пирсона	Пирсона

Таблица 3.2 - Результаты оценки критерия согласия χ^2 для оптимальных теоретических законов распределения рядов измеренных значений концентраций

пункт наблюдения	Кислород	БПК ₅	ХПК	Аммонийный азот	Нитратный азот	Нитритный азот	Общее Железо	Минеральный Фосфор
Опочка в.с.	0,123	0,028	0,034	0,587	0,097	2,838	1,635	4,583
Опочкан.с.	0,092	0,256	0,048	0,550	0,095	3,372	0,154	0,144
Островв.с.	0,069	0,112	0,109	0,550	0,108	1,635	0,099	1,319
Остров н.с.	0,048	0,046	0,057	1,231	0,124	4,025	0,201	2,886
Псков в.с.	0,098	0,146	0,032	1,354	0,181	5,660	0,199	1,725
Псков н.с.	0,046	0,055	0,030	1,012	0,283	4,780	0,171	0,583

Также было интересно оценить какие законы распределения, помимо Пирсона III типа, могут быть использованы для описания рядов значений концентраций. По данным, полученным на основе численных экспериментов, составлялись таблицы, в которых по каждому исходному ряду наблюдений были указаны законы распределения в порядке возрастания критерия $n\omega^2$, то есть убывания их согласованности с эмпирическими кривыми обеспеченности.

По этим данным для каждого закона распределения было рассчитано число случаев, когда закон распределения является наиболее согласованным с эмпирическими данными (минимальный критерий согласия), менее согласованным с эмпирическими данными (второй по величине минимум критерия согласия) и т.д.

В качестве интегрального показателя была принята взвешенная оценка согласия законов распределения с эмпирическими данными K , определяемая для каждого закона распределения по формуле:

$$K = 1 \times n_1 + 2 \times n_2 + 3 \times n_3 + 4 \times n_4, \quad (3.12)$$

где: 1, 2, 3, 4 – порядковые номера по степени согласования каждого данного закона распределения с эмпирическим распределением исходных рядов; n_1, n_2, n_3 – число случаев, когда закон распределения по согласию занимал соответственно 1, 2, 3; n_4 – 4 и большее место.

Очевидно, что чем меньше значение K , тем лучше теоретический закон распределения описывает рассматриваемые ряды гидрохимических параметров. В таблице 3.3 представлены сводные данные по оценке согласия теоретических законов распределения с эмпирическими данными для измеренных значений концентраций. В первой колонке таблицы приведены названия теоретических законов распределения, во второй, третьей, четвертой и пятой колонках представлены число случаев, когда законы распределения по согласию с эмпирическими данными занимали первое, второе, третье и четвертое и ниже место. В шестой колонке дается взвешенная сумма – показатель K , рассчитанный по формуле (3.12).

Как уже было отмечено, в большинстве случаев оптимальным законом является распределение Пирсона III типа. Закон распределения Гамбела чаще других оказывался на 2 месте по согласованности с эмпирическими данными (27 случаев из 48). Чаще всего третье место занимал Нормальный закон распределения (34 случая из 48), а законы распределения логарифмически-нормальный, Джонсона и Крицкого-Менкеля чаще других занимали 4 и более место по согласованности с эмпирическими данными.

Таблица 3.3 – Расчет суммы порядковых номеров теоретических законов распределения по критерию согласия для рядов измеренных значений концентраций

закон распределения	порядковый номер по критерию согласия				k
	1	2	3	≥ 4	
Пирсона III типа	28	10	6	4	82
Крицкого-Менкеля	5	4	2	37	167
Джонсона	11	1	1	35	156
Гамбела	3	27	4	14	125
Нормальный	0	1	34	13	156
Логарифмический нормальный	1	5	1	41	178

Таким образом, можно сделать вывод, что помимо закона распределения Пирсона, для описания рядов измеренных значений концентраций и показателей биогенного загрязнения может быть использован закон распределения Гамбела или Джонсона. Логарифмически-нормальный закон и закон Крицкого-Менкеля использовать не рекомендуется как наименее согласованные с исходными данными. В общем полученные результаты согласуются с полученными ранее выводами [54, 58].

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Наиболее оптимальным законом для описания рядов измеренных значений концентраций является закон распределения Пирсона III типа. Второе место занимает закон распределения Гамбела.

2. Наименее подходящим является логарифмически-нормальное распределение.
3. Все выбранные оптимальные законы распределения хорошо согласуются с исходными рядами наблюдений.

3.2 Оценка выбросов в исходных рядах наблюдений

Как уже было отмечено ранее, оценка экстремальных уровней загрязненности водных объектов является важнейшим разделом в оценке общего состояния водотока. В настоящее время нет единой утвержденной методики по оценке выбросов в исходных рядах наблюдений. Однако, ранее было показано, что анализ эмпирических и теоретических кривых обеспеченности в сочетании с применением критерия Диксона являются подходящими методами для достоверной оценки наличия выбросов в рядах наблюдений [58]. Кроме того, в существующих руководящих документах по обработке результатов наблюдений за гидрохимическим режимом водотоков и по оценке некоторых показателей, содержатся рекомендации по выявлению в рядах наблюдений «непоказательных экстремальных значений концентраций» [52].

Данный раздел работы посвящен различным методикам выявления выбросов в исходных рядах наблюдений.

3.2.1 Графический метод выявления выбросов в рядах наблюдений

Подбор оптимального теоретического закона распределения показал, что наиболее подходящим для описания исходных рядов наблюдений за концентрациями биогенных элементов и показателей биогенного загрязнения является закон распределения Пирсона 3-го типа. При этом детальная оценка эмпирических и теоретических кривых обеспеченности в поле клетчатки вероятности показала, что в большинстве исходных рядов наблюдений содержатся отскакивающие значения, которые не описываются теоретическим

законом распределения. В работах Шелутко В.А. было показано, что попытка подобрать закон распределения для описания этих отскакивающих точек не увенчалась успехом, так как в таком случае закон распределения не описывает основную массу наблюдений. То есть не представляется возможным подобрать единый теоретический закон распределения для описания основной массы значений концентраций и выбросов. Данный факт указывает на необходимость детального анализа выявленных выбросов значений концентраций. [65, 73, 74]

Для анализа исходных рядов наблюдений на наличие выбросов были построены эмпирические кривые и теоретические законы распределения в поле клетчатки вероятности с умеренной асимметричностью в программном пакете GidStat 2.0.

На рисунке 3.1 в качестве примера представлены кривые обеспеченности для БПК₅ в пунктах Опочка – верхний створ (а) и Псков – нижний створ (б). На рисунке 1 видно наличие двух выбросов в обоих рядах наблюдений.

На рисунке 3.2 представлены значения концентраций аммонийного азота (а), нитритного азота (б) и минерального фосфора (в) в пункте Остров – нижний створ. Видно, что в ряду концентраций аммонийного азота не наблюдается выбросов, тогда как в рядах значений концентраций нитритного азота и минерального фосфора видно 1 и 3 отскакивающих значения соответственно. При этом в ряду значений минерального фосфора явно видно одно отскакивающее значения, а два других достаточно близко расположены к основной массе значений. Таким образом можно сделать вывод, что для окончательной оценки выявленных выбросов необходимо провести дополнительные расчеты.

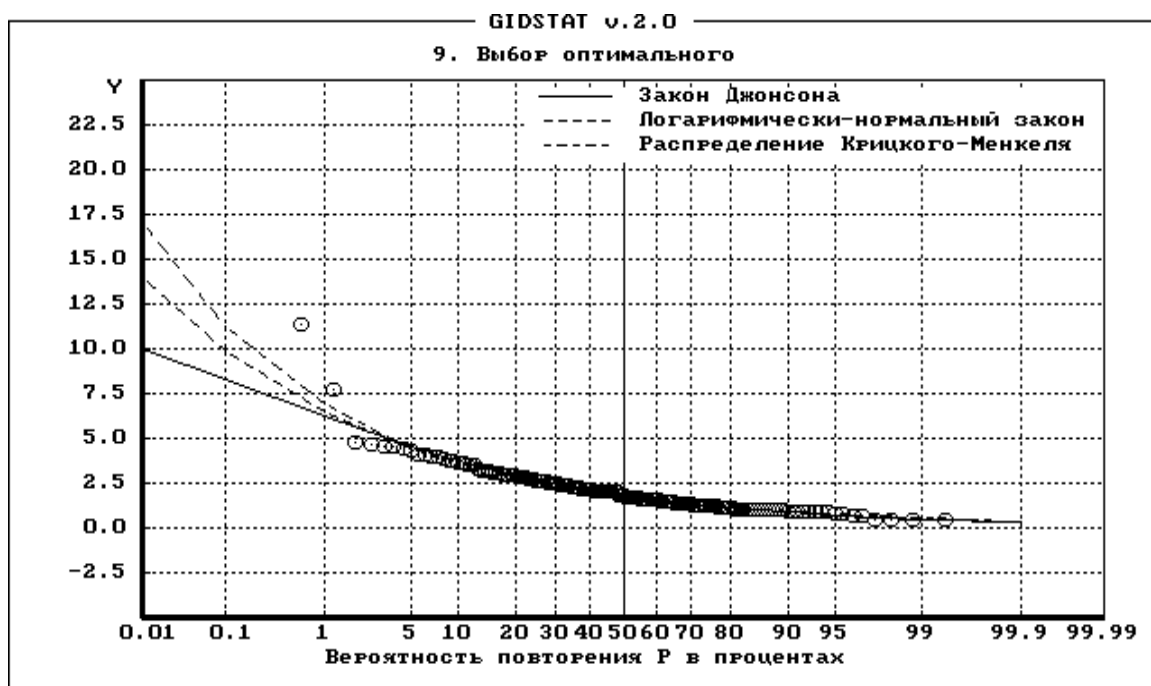
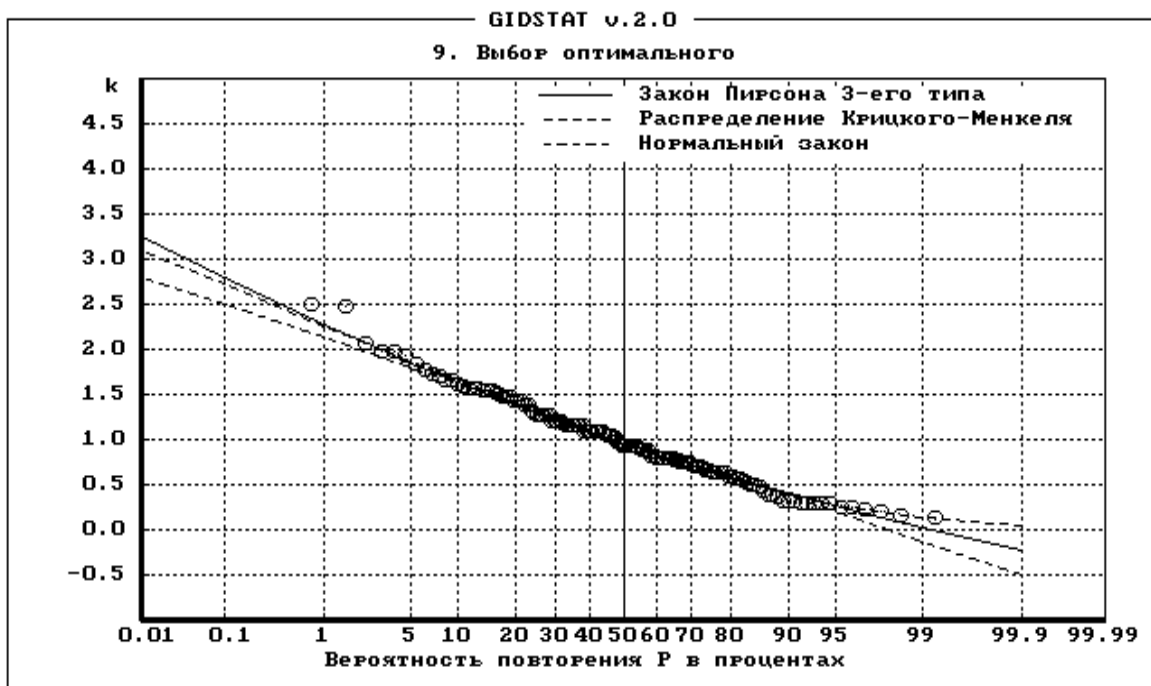


Рисунок 3.1 – Эмпирические и теоретические значения показателя BPK_5 в пункте Опочка (верхний створ) (а) и Псков (нижний створ) (б).

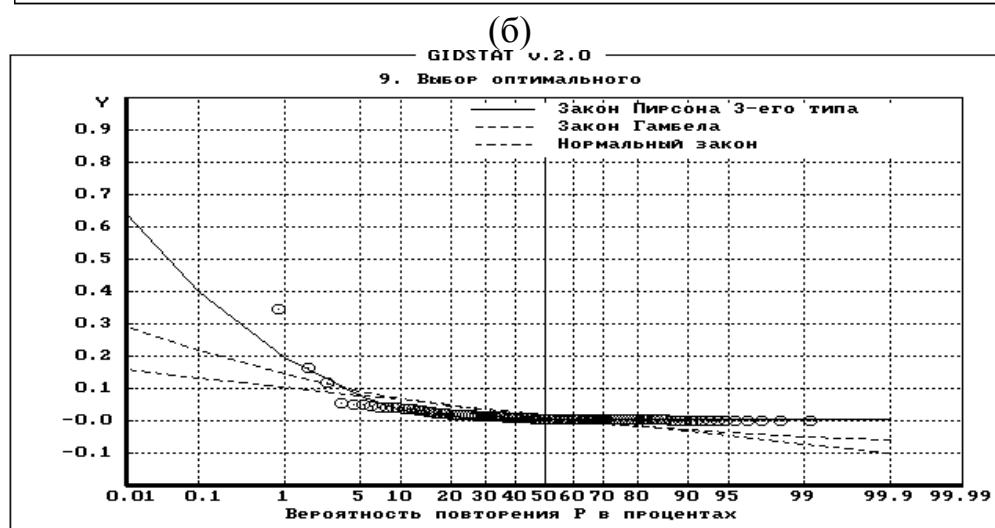
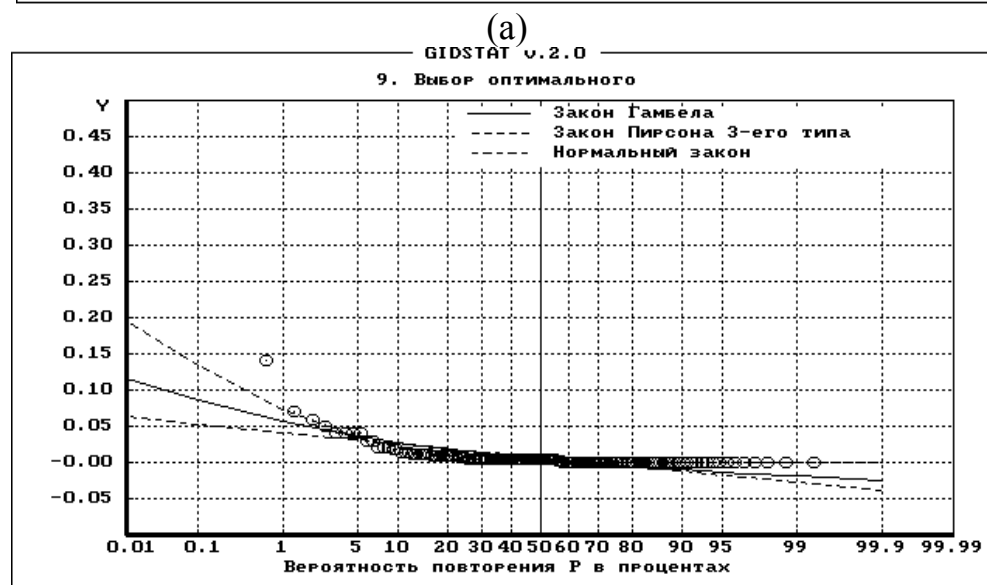
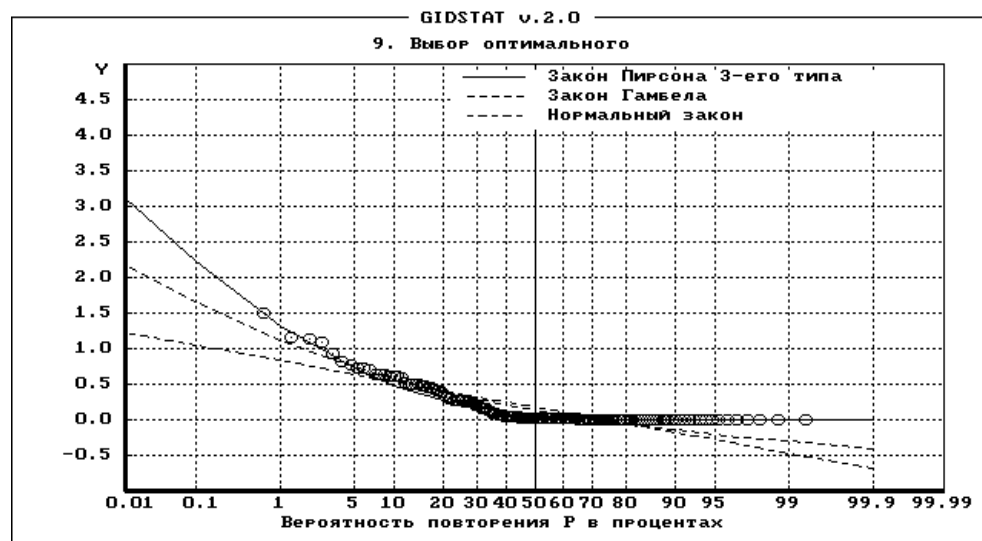


Рисунок 3.2 – Эмпирические и теоретические кривые обеспеченности измеренных значений концентраций аммонийного азота (а), нитритного азота (б) и минерального фосфора (в) в пункте Остров (нижний створ).

Всего в результате анализа всех кривых обеспеченности в рядах наблюдений было выявлено всего 35 значений выбросов (Таблица 3.4).

Таблица 3.4 – Количество выбросов в исходных рядах наблюдений, выявленных на основе визуального анализа кривых обеспеченности

пункт наблюдения	O ₂	ХПК	БПК ₅	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	P-PO ₄	Fe _{общ}	Сумма
Опочка в.ств.	0	0	2	0	1	0	3	0	6
Опочка н.ств.	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Остров в.ств.	0	0	0	1	0	0	1	1	3
Остров н.ств.	0	0	0	0	1	4	3	0	8
Псков в.ств.	0	0	1	0	3	0	4	0	8
Псков н.ств.	0	0	2	0	3	2	1	1	9
Сумма	0	0	6	1	8	6	12	2	35

По данным таблицы 3.4 видно, что большее количество выбросов (12) выявлено для рядов концентраций минерального фосфора (во всех пунктах наблюдений кроме пункта Опочка - нижний створ), тогда как в рядах концентраций растворенного кислорода и показателя ХПК не выявлено ни одного значения выбросов во всех створах наблюдений. В рядах значений аммонийного азота выявлено одно отскакивающее значение только в пункте Остров – верхний створ, в других пунктах выбросы не выявлены. Если оценивать распределение выбросов по пунктам наблюдения, то наименьшее количество выбросов выявлено в пункте Опочка (нижний створ) – одно значение. Больше всего выбросов выявлено в пункте Псков (нижний створ) – девять значений. По-видимому это естественно, так как Псков является наиболее развитым в промышленном отношении.

Всего в 18 рядах значений концентраций из 48 (37,5 %) по визуальной оценке эмпирических и теоретических кривых обеспеченности было выявлено от 1 до 4 выбросов.

Следует отметить, что результаты визуальной оценки в достаточной степени являются субъективными, что говорит о необходимости более детальной оценки выявленных выбросов.

3.2.2 Оценка выбросов в исходных рядах наблюдений по критерию Диксона

Для статистической проверки предположения о наличии выбросов в рядах наблюдений был использован критерий Диксона, вычисляемый по ранжированному в возрастающем порядке ряду [5]:

$$r_{i,j} = \frac{x_n - x_{n-1}}{x_1 - x_n}, \quad (3.13)$$

где: x_n – максимальное значение ранжированного ряда, x_{n-1} – предшествующее максимальному значению, x_1 – первое (минимальное) значение ранжированного ряда.

Для оценки результата полученное значение $r_{i,j}$ необходимо сравнить с $r_{крит}$ при уровне значимости 5 %. Критическое значение зависит от объема выборки (n) и степени асимметрии ряда (Cs). Если $r_{i,j} > r_{крит}$, то значение считается выбросом.

Критерий Диксона имеет существенное ограничение: количество выбросов в исследуемом ряду должно быть не больше двух. При большем количестве выбросов критерий может дать существенные погрешности. Это ограничение можно легко обойти, исключая из ряда уже выявленный выброс и исследуя оставшуюся часть выборки. В таком случае необходимо оценить значение коэффициента асимметрии (Cs) оставшейся части выборки для нахождения критического значения r [54].

Результаты оценки критерия Диксона для выявленных по клетчаткам вероятности выбросов представлены в таблице 3.5.

Всего в рядах наблюдений выявлено 26 выбросов. То есть для 9 значений выбросов, выявленных на основе визуального анализа эмпирических и теоретических кривых обеспеченности значение $r_{i,j}$ оказалось меньше $r_{крит}$.

Таблица 3.5 - Количество выбросов в исходных рядах наблюдений, выявленных на основе применения Критерия Диксона.

т пункт наблюдения	O ₂	ХПК	БПК ₅	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	P-PO ₄	Fe _{общ}	сумма
Опочка в.ств.	0	0	2	0	1	0	3	0	6
Опочка н.ств.	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Остров в.ств.	0	0	0	0	0	0	1	1	2
Остров н.ств.	0	0	0	0	1	4	3	0	8
Пск товв.ств.	0	0	1	0	0	0	4	0	5
Псков н.ств.	0	0	0	0	0	2	1	1	4
сумма	0	0	4	0	2	6	12	2	26

Не подтвердилось наличие выбросов в рядах значений БПК₅ в пункте Псков (нижний створ), в рядах концентраций аммонийного азота в пункте Остров (верхний створ) и в рядах концентраций нитритного азота для пункта Псков (верхний и нижний створ) (таблица 3.4, 3.5). Наибольшей достоверностью обладают результаты оценки статистического Критерия Диксона.

Из всех рассматриваемых веществ и показателей наибольшее количество выбросов выявлено в рядах концентраций минерального фосфора (двенадцать значений). В рядах концентраций растворенного кислорода, аммонийного азота и показателя ХПК выбросов не выявлено. Если оценивать количество выбросов, выявленных во всех исследуемых рядах в разных пунктах наблюдений, то наибольшее количество выбросов зафиксировано в пункте Остров (нижний створ), наименьшее количество выбросов (одно значение) зафиксировано в пункте Опочка (нижний створ).

Всего в 14 рядах из 48 (30 %) выявлено от 1 до 4 выбросов. Наличие выбросов не подтвердилось для четырех рядов наблюдений.

В целом можно сделать вывод, что сочетание визуального метода выявления выбросов и критерия Диксона позволяет выявить выбросы в исходных рядах наблюдений за гидрохимическим режимом рек. Результаты анализа выбросов согласуются с полученными ранее выводами [58].

3.2.3 Оценка выбросов в исходных рядах наблюдений по методике изложенной в РД 52.24.622-2001

Анализ действующих руководящих документов (РД) Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, разработанных для анализа и обработки результатов гидрохимических и гидрологических наблюдений, показал, что не существует отдельной специально разработанной методики для анализа экстремальных значений концентраций содержащихся в воде веществ. Единственным вариантом для оценки «непоказательных экстремальных значений» является методика, изложенная в пункте 5.5.1 РД 52.24.622-2001 «Методические указания. Проведение расчетов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков». Для оценки экстремальных значений предлагается производить расчет величины I' (для оценки максимальных значений) и I'' (для оценки минимальных значений) по формулам:

$$I' = \frac{C_{\max} - C_{\text{ср}}}{\sigma} \quad (3.14)$$

$$I'' = \frac{C_{\text{ср}} - C_{\min}}{\sigma} \quad (3.15)$$

где: $C_{\max}$ – максимальная концентрация вещества за рассматриваемый период; $C_{\min}$ – минимальная концентрация вещества за рассматриваемый период; $C_{\text{ср}}$ – средняя концентрация вещества за рассматриваемый период; σ – среднеквадратическое отклонение значений концентрации вещества.[52]

В том случае, если $I' > I_n$ или $I'' > I_n$ (где I_n – нормативное значение, определяемое по таблице, приведенной в РД), то взятое для анализа экстремальное значение концентрации вещества исключается из рассматриваемого ряда данных [52]. Значение I_n зависит только от объема выборки n .

Следует отметить, что значения I' и I'' представляют из себя стандартную нормированную случайную величину [17, 77, 78]. При этом таблица

нормативных значений не учитывает особенности распределения рядов значений концентраций.

Расчет и оценка параметра I' проводилась для всех предполагаемых выбросов, выявленных при визуальной оценке клетчаток вероятности. Результаты оценки представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Количество выбросов в исходных рядах наблюдений, выявленных на основе применения методики, изложенной в пункте 5.5.1 РД 52.24.622-2001.

пункт наблюдения	O ₂	ХПК	БПК ₅	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	P-PO ₄	Fe _{общ}	сумма
Опочка в.ств.	0	0	2	0	1	0	3	0	6
Опочка н.ств.	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Остров в.ств.	0	0	0	1	0	0	1	1	3
Остров н.ств.	0	0	0	0	1	4	2	0	7
Псков в.ств.	0	0	1	0	3	0	4	0	8
Псков н.ств.	0	0	2	0	3	2	1	1	9
сумма	0	0	6	1	8	6	11	2	34

Как видно из представленных данных, количество выбросов, выявленных в исходных рядах измеренных значений концентраций по методике, представленной в руководящем документе, практически полностью совпало с количеством выбросов, выявленном на основе визуального анализа эмпирических и теоретических кривых распределения. По методике из руководящего документа не подтвердилось наличие одного выброса в ряду значений концентраций минерального фосфора в пункте Остров (нижний створ). Следует отметить, что по критерию Диксона это значение относится к выбросам. Количество выбросов по отдельным веществам и створам наблюдений совпадает с результатами визуального анализа кривых обеспеченности.

В общем можно сделать вывод, что данная методика, изложенная в руководящем документе, может применяться для выявления выбросов в исходных рядах наблюдений. При этом стоит отметить, что, в отличие от

критерия Диксона, данная методика не учитывает основные особенности распределения, в частности, высокую степень асимметрии, которая характерна для большинства рядов измеренных значений концентраций. Это обстоятельство может в существенной степени влиять на результаты оценки возможных выбросов, что видно из представленных результатов (таблица 3.5 и 3.6).

Таким образом из всех представленных результатов, можно сделать вывод, что для оценки выбросов можно использовать все три методики в комплексе. Однако необходимо принимать во внимание, что применение критерия Диксона является более статистически обоснованным, так как учитывает не только объем выборки, но и позволяет выбрать уровень значимости, а также учитывает особенности распределения за счет учета степени асимметричности рядов наблюдений.

3.3 Результаты и выводы

В общем, проведенное исследование показывает, что существуют достаточно достоверные способы оценки и исключения из исходных рядов выбросов. В свою очередь исключение выбросов (В данном случае это одно или два - четыре значения в несколько раз превышающие предшествующие значения) из исходных рядов позволяет оценить загрязнение водного объекта при регулярном и постоянном антропогенном воздействии.

За истинные значения выбросов мы приняли выбросы, выявленные в рядах наблюдений по результатам применения критерия Диксона. Значения выбросов, даты в которые они наблюдались и значения ПДК для конкретных веществ представлены в таблице 3.7.

Из представленных данных видно, что в большинстве случаев выбросы превышают значения ПДК, в отдельных случаях это превышение существенно. Например в пункте Опочка верхний створ значение БПК₅ превышало ПДК более чем в 6 раз (таблица 3.7).

Таблица 3.7 – Значения выбросов в исходных рядах наблюдения, выявленные на основе визуального анализа кривых обеспеченности и применения критерия Диксона.

пункт	дата	значение, мг/дм ³	ПДК, мг/дм ³
БПК ₅			
Опочка в.ств.	09.02.82	4,33	2,0
Опочка в.ств.	22.04.97	4,3	
Опочка н.ств.	18.04.80	12,3	
Псков в.ств.	30.05.73	9,2	
нитритный азот			
Опочка в.ств.	05.07.78	0,07	0,02
Остров н.ств.	21.03.73	0,14	
нитратный азот			
Остров н.ств.	21.11.67	2	9,1
Остров н.ств.	26.02.71	51	
Остров н.ств.	18.04.85	2,1	
Остров н.ств.	23.04.03	2,490	
Псков н.ств.	06.02.89	6	
Псков н.ств.	29.10.08	4,200	
фосфор минеральный			
Опочка в.ств.	24.03.81	0,25	0,2
Опочка в.ств.	12.08.86	41	
Опочка в.ств.	17.10.94	0,38	
Остров в.ств	27.03.81	0,172	
Остров н.ств.	27.03.81	0,162	
Остров н.ств.	10.10.05	0,344	
Остров н.ств.	18.04.06	0,120	
Псков в.ств.	01.04.81	0,163	
Псков в.ств.	14.10.85	0,17	
Псков в.ств.	27.02.03	0,260	
Псков в.ств.	30.10.06	0,230	
Псков н.ств.	19.03.03	0,310	
железо общее			
Остров в.ств	11.08.93	1,52	0,1
Псков н.ств.	14.10.85	1,16	

Однако в некоторых случаях значение выброса не превышает значение ПДК. Такая ситуация наблюдается практически для всех выявленных выбросов нитратного азота, и некоторых значений минерального фосфора. Подобная ситуация может быть связана с тем, что статистически выбросом считается любое экстремальное значение, существенно превышающее основную массу

значений ряда за определенный период наблюдения, без привязки к значению ПДК.

Что касается генезиса выявленных значений выбросов, то для его оценки можно воспользоваться методикой, разработанной Смыжовой Е.С. и Шелутко В.А. Так, из представленных в таблице 3.7 данных видно, что значение нитратного азота в феврале 1971 года (51 мг/дм^3) и минерального фосфора в августе 1986 (41 мг/дм^3) явно могут считаться ошибками записи или копирования данных.

Также видно, что значения минерального фосфора в марте 1981 являются выбросами в пункте Опочка (верхний створ) и Остров (верхний и нижний створ), а значение минерального фосфора в марте 1981 года в пункте Опочка (нижний створ) хоть и не является выбросом со статистической точки зрения, зато является максимальным наблюдаемым за исследуемый период. Это говорит, о том, что причиной появления этих выбросов в рядах наблюдения могут быть факторы, влияющие на значительную часть водосбора. То есть можно предположить что выбросы в марте 1981 вызваны влиянием неблагоприятных гидрометеорологических явлений.

Во всех других случаях выявленные выбросы наблюдаются только на одном конкретном створе, что позволяет нам сделать вывод о том, что причиной их появления в исходных рядах являлись аварийные сбросы предприятий, носящие локальный характер.

Для оценки влияния выбросов на результаты расчёта среднегодовых концентраций биогенов были произведены расчёты основных числовых характеристик (среднего значения, СКО, Коэффициента асимметрии и вариации) до и после исключения выбросов. Расчёт производился по формулам (2.1-2.4). Результаты такого расчёта представлен в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Оценка основных числовых характеристик рядов наблюдений до и после исключения выбросов.

вещество	БПК ₅		нитритный азот		нитратный азот		фосфор минеральный		железо общее	
	исходный	без выбросов	исходный	без выбросов	исходный	без выбросов	исходный	без выбросов	исходный	без выбросов
Опочка верхний створ										
среднее	1,74	1,70	0,0035	0,0030			0,408	0,008		
СКО	0,84	0,78	0,0070	0,0042			4,019	0,013		
Cv	0,49	0,46	2,02	1,41			9,85	1,57		
Cs	0,50	0,22	6,48	2,10			10,00	3,26		
Опочка нижний створ										
среднее	2,11	2,04								
СКО	1,33	0,99								
Cv	0,63	0,48								
Cs	3,47	0,26								
Остров верхний створ										
среднее							0,012	0,010	0,166	0,157
СКО							0,020	0,013	0,186	0,150
Cv							1,67	1,24	1,12	0,96
Cs							5,18	2,36	3,13	1,31
Остров нижний створ										
среднее			0,007	0,006	0,802	0,36	0,019	0,014		
СКО			0,015	0,011	4,510	0,32	0,037	0,013		
Cv			2,12	1,73	5,62	0,90	1,99	0,98		
Cs			5,28	3,26	10,94	1,02	6,43	1,19		
Псков верхний створ										
среднее	1,89	1,86					0,019	0,013		
СКО	0,99	0,91					0,038	0,016		
Cv	0,52	0,49					2,01	1,25		
Cs	-0,08	-0,09					4,33	2,14		
Псков нижний створ										
среднее					0,524	0,478	0,026	0,025	0,195	0,189
СКО					0,622	0,410	0,033	0,026	0,200	0,186
Cv					1,19	0,86	1,27	1,05	1,02	0,98
Cs					4,68	1,10	4,25	2,16	1,61	1,26

Следует отметить, что при исключении выбросов среднегодовые значения концентрации биогенов в те годы, когда они наблюдались, существенно снизились вследствие исключения максимальных наблюдаемых значений отнесенных к выбросам. Кроме того, исключение выбросов из исходных рядов измеренных значений концентраций существенно сказалось также на результатах расчёта среднего многолетнего значения и коэффициента вариации рядов измеренных значений концентраций биогенов. Наибольшие снижения числовых характеристик наблюдаются для рядов концентраций нитратного азота в пункте Остров (верхний створ) и минерального фосфора в пункте Опочка (верхний створ), то есть как раз в тех случаях, когда из рядов были исключены явные ошибки записи или копирования данных наблюдений.

В некоторых случаях исключение выбросов из исходных рядов оказывает незначительное влияние на оценки основных числовых характеристик. Так например для ряда значений БПК₅ в пункте Псков (верхний створ) значение C_v снизилось с 0,52 до 0,49, а значение C_s с -0,08 до -0,09. Для ряда концентраций минерального фосфора в пункте Псков (нижний створ) среднее многолетнее значение изменилось незначительно (с 0,026 до 0,025 мг/дм³), а значения C_s изменились более существенно с 4,25 до 2,16.

При этом, судя по согласованности теоретических кривых обеспеченности и эмпирических точек, все исходные ряды при исключении выбросов являются генетически однородными, то есть значения каждого исходного ряда относятся к одному закону распределения.

Естественно встает вопрос: насколько обосновано исключение выбросов, не приведет ли это к искусственному занижению среднегодовых концентраций и годовых объемов стока? Целесообразность исключения выбросов из исходных рядов наблюдений подробно рассматривалась в диссертационной работе Смыжовой Е.С. [58]. Было показано, что при решении этого вопроса следует исходить из следующих соображений:

выбросы, вызванные аварийными сбросами загрязняющих веществ, продолжаются, как правило, не больше двух-трех дней. При включении же их в расчет среднегодовых концентраций, при числе измерений в год от 4 до 12, им искусственно приписывается продолжительность соответственно от трех до одного месяца, что и вызывает резкое и необоснованное завышение среднегодовых концентраций. [58]

Основываясь на полученных выводах, представляется необходимым пересмотреть методику определения среднегодовых и средних многолетних концентраций загрязняющих веществ и их изменчивости. Также представляется необходимой разработка специализированного руководящего документа по оценке экстремальных значений концентраций в рядах наблюдений за гидрохимическим режимом рек. Данный документ может применяться для первичного анализа рядов, на основе которых, в дальнейшем, проводятся оценки качества поверхностных вод и расчет основных гидрохимических характеристик.

В результате выполнения данного раздела работы можно сформулировать следующие выводы:

1. Наиболее подходящим законом распределения для описания исходных рядов наблюдений является закон распределения Пирсона III-типа. Вторым по согласованности с рядами наблюдений является закон Гамбела. Наименее подходящим является Логарифмически нормальный закон распределения.
2. Все законы распределения достаточно хорошо согласуются с исходными рядами наблюдений.
3. Для оценки выбросов в исходных рядах наблюдений целесообразно использовать комплексную методику состоящую из предварительной визуальной оценки эмпирических и теоретических кривых обеспеченности и оценки выбросов по критерию Диксона. Использование методики изложенной в руководящем документе РД 52.24.622-2001 менее

предпочтительно в силу её меньшей теоретической обоснованности для применения при анализе гидрохимических рядов наблюдений.

4. Почти в 30 % исходных рядов наблюдений были выявлены экстремальные значения концентраций или т.н. выбросы. Больше количество выбросов было получено для рядов значений концентраций минерального фосфора. В рядах концентраций кислорода и аммонийного азота и показателя ХПК выбросов не обнаружено.

5. Исключение выбросов из исходных рядов наблюдений ведет к снижению оценок основных числовых характеристик рядов наблюдений.

6. Представляется необходимой разработка специализированного руководящего документа по оценке экстремальных значений концентраций в рядах наблюдений за гидрохимическим режимом рек.

4 Комплексная методика оценки средних годовых концентраций и объемов годового стока биогенов с учетом особенностей геоэкологической информации

В проведенных ранее исследованиях неоднократно было показано, что базовой характеристикой содержания конкретного вещества в воде, на основе которой ведутся дальнейшие расчеты, является среднегодовая концентрация [21, 56, 84]. Так, на основе среднегодовой концентрации чаще всего оценивают пространственную и временную динамику загрязненности реки, оценивают объем стока, по методике, изложенной в РД 52.24.643-2002, оценивают УКИЗВ и так далее [19, 51, 53]. Таким образом можно сделать вывод, что достоверная оценка среднегодовой концентрации существенным образом влияет на качество дальнейших оценок и расчетов, и выводов, полученных на её основе. Ранее в главе 2 было показано что исходные ряды измеренных значений концентраций содержащихся в воде веществ, в частности биогенных элементов, не соответствуют основным теоретическим положениям, которые лежат в основе методик оценки различных гидрохимических показателей. Таким образом, представляется необходимой разработка и апробация новой комплексной методики оценки среднегодовых концентраций, учитывающей основные особенности гидрохимических рядов наблюдений.

В данной главе приводится обзор существующих методик учета особенностей гидрохимической информации при оценке среднегодовых концентраций и объема стока.

Основной частью данной главы является разработка и апробация комплексной методики оценки среднегодовой концентрации, и на её основе объемов стока, учитывающей основные особенности гидрохимической информации.

4.1 Обзор методик учета особенностей геоэкологической информации при оценке среднегодовой концентрации биогенов

В настоящее время основным способом определения среднегодовой концентрации является расчет среднеарифметического значения по измеренным за год величинам концентраций (формула 4.1) [56]:

$$\bar{C}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{nj} C_{ji}, \quad (4.1)$$

Наряду с этим, предлагается также использовать метод, учитывающий водность реки в момент взятия пробы воды на химический анализ. В этом случае расчёт производится по формуле [31]:

$$\bar{C}_j = (\sum_{i=1}^{nj} C_{ji} \times Q_{ji}) / \sum_{i=1}^{nj} Q_{ji}, \quad (4.2)$$

где $\bar{C}_j$ - среднегодовая концентрация в j -м году; C_{ji} – измеренное i -е значение концентрации в j -м году; Q_{ji} – измеренное i -е значение расхода воды на момент отбора пробы в j -м году; n – число измерений в j -м году.

В практике геоэкологических расчётов формула (4.2) практически не используется. Это связано с тем, что взятие проб воды в реках на химический анализ не всегда сопровождается измерением расходов воды. Во многих случаях на реках, где берутся пробы воды на химический анализ, расходы воды не измеряются вообще. Кроме того, для многих исследователей разница в результатах расчёта по первой и второй формуле представляется несущественной, так как ранее при анализе других процессов, как правило, в большинстве случаев среднее по измерениям практически совпадало с действительным средним значением.

Ранее, в работе Колесниковой Е.В. (2008), было показано, что метод, основанный на учёте водности реки, является физически обоснованным и, следовательно, расчёты этим методом дают оптимальные результаты. Было показано также, что при расчёте среднегодовой концентрации как среднего

арифметического значения принимается, что расходы воды в течение года на рассматриваемом объекте являются постоянными.[29]

Действительно, если принять расход воды постоянным в течение года, то из формулы (4.2) получаем формулу (4.1), то есть формулу расчёта средней годовой концентрации как среднего арифметического значения по измеренным за год значениям [28].

На самом деле, расходы воды являются крайне непостоянной величиной. Так, например, на р. Великой на гидрологическом посту Пятоново за рассматриваемый период наблюдения минимальный и максимальный расходы составили соответственно $20 \text{ м}^3/\text{с}$ и $880 \text{ м}^3/\text{с}$, то есть действительные значения средних суточных расходов только в течение одного года могут отличаться почти в 50 раз. При этом среднее многолетнее значение расхода воды в данном пункте составляет около $200 \text{ м}^3/\text{с}$. Таким образом, способность реки транспортировать содержащиеся в воде вещества своими водами в течение года меняется в десятки и в сотни раз [2; 36]. Поэтому формула (4.1), не учитывающая значение расхода воды при измерении концентраций растворённых в воде веществ, не отражает действительное значение средней годовой концентрации.

В 2008 году Е.В. Колесниковой была проведена оценка возможных погрешностей за счет неучёта водности при расчетах среднегодовых концентраций тяжелых металлов. В 2010 году расчеты, проведенные в рамках диссертационной работы Е.С. Смыжовой подтвердили полученные ранее выводы. Было показано, что за счет неучёта водности в некоторые годы средние годовые концентрации, а, следовательно, и объемы годового стока загрязняющих веществ могут быть значительно завышены по сравнению с фактическими. Так в 20 % случаев это завышение может достигать от 20 % до 400 и более % от фактического значения; в 10 % – от 60 % до 400 и более, в 5 % – от 100 до 400 и более. Интересно, что занижение средних годовых концентраций за счет неучёта водности наблюдается

практически также часто, как и завышение, но только в 10 % случаев эта занижение достигает величин от минус 50 % до минус 60 %. [29, 58]

Также в диссертационной работе Смыжовой Е.С. (2010) была разработана и апробирована отдельная методика учета неэквидистентности исходных рядов гидрохимических наблюдений. В результате был получен алгоритм последовательности вычислений для оценки среднегодовой концентрации. Было показано, что погрешности за счёт неучётанеэквидистентности в отдельные годы могут достигать 100 % и более. Погрешности могут быть положительными и отрицательными, поэтому при достаточно продолжительных рядах наблюдений средние многолетние значения, рассчитанные с учетом и без учета неэквидистентности практически совпадают. Для коротких рядов наблюдений средние арифметические значения могут существенно отличаться от действительных, рассчитанных с учетом неэквидистентности [57, 58, 60].

4.2 Комплексная методика одновременного учета неэквидистентности информации и водности в период взятия проб на химический анализ

Одной из главных задач, решение которой необходимо для достижения поставленной цели, является стыковка различных методов учета особенностей геоэкологической информации и создание на этой основе комплексной методики более достоверной оценки концентраций и объемов годового стока биогенов

Ранее в работах Шелутко В.А., Е.В. Колесниковой и Е.С. Смыжовой [29, 58], была показана необходимость учета водности и неэквидистентности исходных рядов наблюдений при оценке среднегодовых концентраций содержащихся в воде веществ. Кроме того, в кандидатской диссертации Смыжовой [58] была разработана методика учета неэквидистентности исходной информации при оценке среднегодовых значений. В настоящее

время возникла необходимость разработки единой методики по оценке среднегодовой концентрации с учетом названных ранее особенностей. Для этого, было необходимо решить задачу стыковки двух алгоритмов, каждый из которых был направлен на решение частной задачи: первый – учет водности в период взятия проб на химанализ, второй – учет неэквидистентности рядов наблюдений.

Задача оказалась достаточно сложной. Было разработано несколько вариантов ее решения. Так один из вариантов заключался в том, что вначале по исходным рядам измеренных концентраций и расходов воды учитывалась неэквидистентность этих рядов, а затем уже по преобразованным рядам учитывалась водность в период взятия проб на химический анализ

Результат оказался отрицательным, так как в некоторых случаях полученная среднегодовая концентрация оказывалась меньше чем минимально измеренное в этом году значение. Естественно, что было необходимо проанализировать причину этого обстоятельства. Оказалось, что в ряде случаев изменения концентраций и расходов воды между смежными датами измерения шли в противоположном направлении и/или с разной интенсивностью, что и приводило к искажению результатов.

В конечном итоге был выбран более правильный путь, заключающийся вначале в учете водности, а затем уже по ряду полученных значений производился учет неэквидистентности.

Блок-схема последовательности вычислений для стыковки этих двух алгоритмов представлена на рисунке 4.1.

В первом блоке путем интерполяции между последними измерениями концентраций и расходов воды предшествующего года и первым измерением рассматриваемого года по формуле (4.3) находятся значения концентраций $S_{1.01}$ и расходов воды $Q_{1.01}$ на 1 января рассматриваемого года:

$$x_{1.01} = x_{nn} + (x_{1n} - x_{nn}) / (d_{1n} - d_{nn}) * d_{nn}, \quad (4.3)$$

где $x_{1.01}$ значение концентрации $S_{1.01}$ или расхода воды $Q_{1.01}$ 1-го января рассматриваемого года, x_{nn} – последнее измеренное значение концентрации или расхода воды в предшествующий год, x_{1n} – первое измеренное значение концентрации или расходов воды в рассматриваемом году; d_{1n} – число дней от начала предшествующего года до последнего измеренного значения концентрации или расходов воды в этом году, d_{nn} – число дней от начала предшествующего года до первого измеренного значения концентрации или расхода воды в рассматриваемом году.



Рисунок 4.1 – Блок-схема последовательности вычислений при оценке среднегодовых значений концентраций по комплексной методике учета особенностей гидрохимической информации.

Аналогично путем интерполяции находятся значения этих величин на 31 декабря рассматриваемого года.

$$x_{31.12} = x_{np} + (x_{np} - x_{1n}) / (d_{np} - d_{1n}) * (365 - d_{np}) \quad (4.4)$$

Здесь $x_{31.12}$ — значение концентрации $S_{31.12}$ или расхода воды $Q_{31.12}$ 31-го декабря рассматриваемого года, x_{np} — последнее измеренное значение концентрации или расхода воды в рассматриваемый год, x_{1n} — первое измеренное значение концентрации или расхода воды в последующий год, d_{np} — дата в днях от начала рассматриваемого года до последнего измеренного значения концентрации или расходов воды в этом году, d_{1n} — число дней от начала рассматриваемого года до первого измеренного значения концентрации или расхода воды в последующем году.

Во втором блоке на каждую дату измерений, включая найденные в первом блоке значения концентраций C и расходов воды Q на 1.01 и 31.12, находятся произведения $C * Q$.

В третьем блоке находятся средние значения расходов воды Q_{cp} и произведений концентраций на расход воды - $(C * Q)_{cp}$ между смежными датами измерений. Рассчитывается отношение $(C * Q)_{cp} / Q_{cp}$.

В четвертом блоке рассчитывается число дней между смежными датами измерений - Δt

В пятом блоке находится произведение $(C * Q)_{cp} / Q_{cp}$ на число дней в интервале между смежными измерениями, и произведение делится на 365 - C_{icp} :

$$C_{icp} = \left(\frac{(C * Q)_{cp}}{Q} * \Delta t \right) / 365 \quad (4.5)$$

Сумма полученных C_{icp} является средней годовой концентрацией в данном году.

В качестве примера в таблице 4.1 представлены результаты расчетов среднегодовой концентрации азота аммонийного за один год по р. Великой, п. Остров (верхний створ).

Таблица 4.1 - Расчет средней годовой концентрации азота аммонийного по р. Великая пункт Остров (верхний створ) за 2006 год, комплексно учитывающий водность и неэквидистентность информации

дата	Q_i	C_i	$Q_i * C_i$	$(Q_i * C_i)_{cp}$	Q_{cp}	$(Q_i * C_i)_{cp} / Q_{cp}$	Δt	C_{icp}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
01.01.06	12,5	0,059	0,74	0,53	9,1	0,058	37	0,0059
08.02.06	5,8	0,055	0,32					
18.04.06	266,0	0,001	0,27	0,29	135,9	0,002	70	0,0004
18.07.06	23,8	0,028	0,67	0,47	144,9	0,003	90	0,0008
31.10.06	80,9	0,030	2,43	1,55	52,4	0,030	103	0,0083
31.12.06	55,5	0,046	2,55	2,49	68,	0,037	60	0,0060
							$C_{внз}$	0,021

Здесь в первой колонке таблицы представлены даты измерения; во второй, третьей и четвертой – значения измеренных значений расходов воды, концентраций и произведение расхода воды на концентрацию; в пятой и шестой колонке представлены средние значения произведения $(Q * C)_{cp}$ и расходов воды Q_{cp} между смежными измерениями; в седьмой колонке представлено отношение $(Q * C)_{cp} / Q_{cp}$; в восьмой число дней между измерениями, в девятой – C_{icp} , рассчитанное по формуле 4.5. Внизу дана сумма последнего столбца - конечный результат среднегодовая концентрация с учетом водности и неэквидистентности - $C_{внз}$. Как видно из таблицы 4.1 среднегодовая концентрация азота аммонийного в 2006 году в пункте Остров (верхний створ), полученная по предлагаемой методике с учетом водности и неэквидистентности, составила 0,021 мг/дм³. Среднегодовая концентрация,

полученная общепринятым методом (по формуле 4.1), в этот год составила 0,029 мг/дм³. Разница между этими двумя значениями составила 33,2 %.

Так как значения среднегодовой концентрации содержащихся в воде веществ являются основой для дальнейших оценок и расчетов, в частности для оценки объема стока веществ, то соответственно выбор методики оценки среднегодовой концентрации может существенно сказаться на конечном результате.

4.3 Результаты и выводы

На основе изложенного алгоритма расчетов, комплексно учитывающих основные особенности исходной информации, по всем рассматриваемым рядам были рассчитаны средние годовые концентрации и сопоставлены с результатами расчетов обычно принятыми методами, не учитывающими эти особенности (формула 4.1). При этом естественно за более точные реперные значения принимались данные учитывающие эти особенности. Отклонения от реперных значений принимались в качестве погрешностей за счет неучёта особенностей исходных данных:

$$\Delta_i = C_{ai} - C_{внэi} \quad (4.6)$$

$$\delta_i = (\Delta_i / S_{ei}) \cdot 100\%. \quad (4.7)$$

где Δ_i – погрешность расчетов за счет не учета особенностей исходных рядов наблюдений, C_{ai} и $C_{внэi}$ – соответственно значения средней годовой концентрации, полученные при не учете и учете особенностей исходных рядов наблюдений. Результаты расчетов среднегодовых концентраций погрешностей δ , % представлены в таблицах Б.1 – Б.8 Приложения Б.

Для более детального анализа погрешностей расчёта среднегодовой концентрации при неучёте водности и неэквидистентности исходных рядов

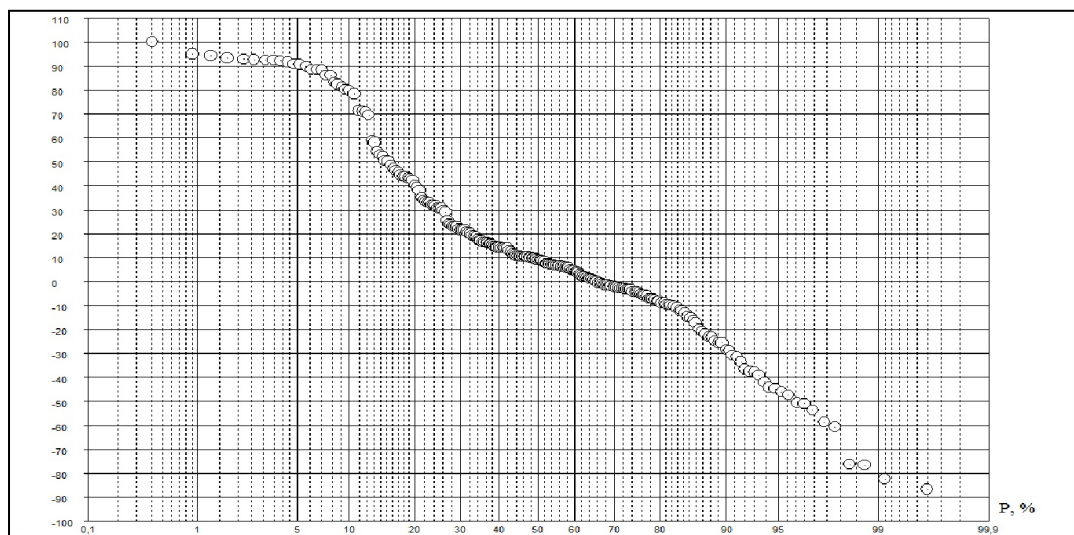
наблюдений были построены и проанализированы эмпирические кривые обеспеченности рядов погрешностей δ , %.

На рисунке 4.2 в качестве примера представлены эмпирические кривые обеспеченности обобщенных рядов погрешностей оценки среднегодовых концентраций за счет не учета особенностей гидрохимических рядов наблюдений для железа общего (а), аммонийного азота (б) и БПК₅ (в).

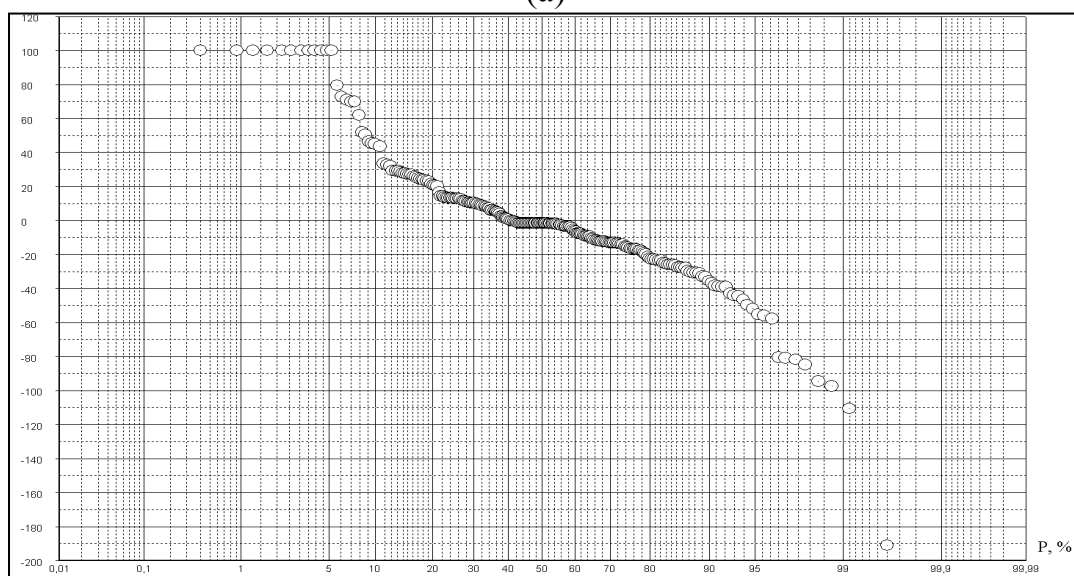
Как видно из рисунка 4.2 (а) разброс значений погрешностей составляет от 100 до -90 %. При этом видно, что положительные погрешности преобладают. Это говорит о том, что значения среднегодовых концентраций, полученные по комплексной методике превышают значения, полученные как среднеарифметические значения. Для ряда среднегодовых концентраций аммонийного азота отрицательные величины погрешности преобладают, что говорит об общем уменьшении среднегодовых значений в результате применения комплексной методики. Для ряда БПК₅ отрицательные погрешности также преобладают (Рисунок 4.2).

В таблице 4.2 в качестве примера представлены значения погрешностей оценки среднегодовых концентраций за счет не учета особенностей гидрохимической информации. Здесь в первой колонке представлены названия вещества или соединения, во второй и третьей колонке представлены частота выхода погрешностей за величину погрешности обеспеченностью соответственно в 20 и 10 %.

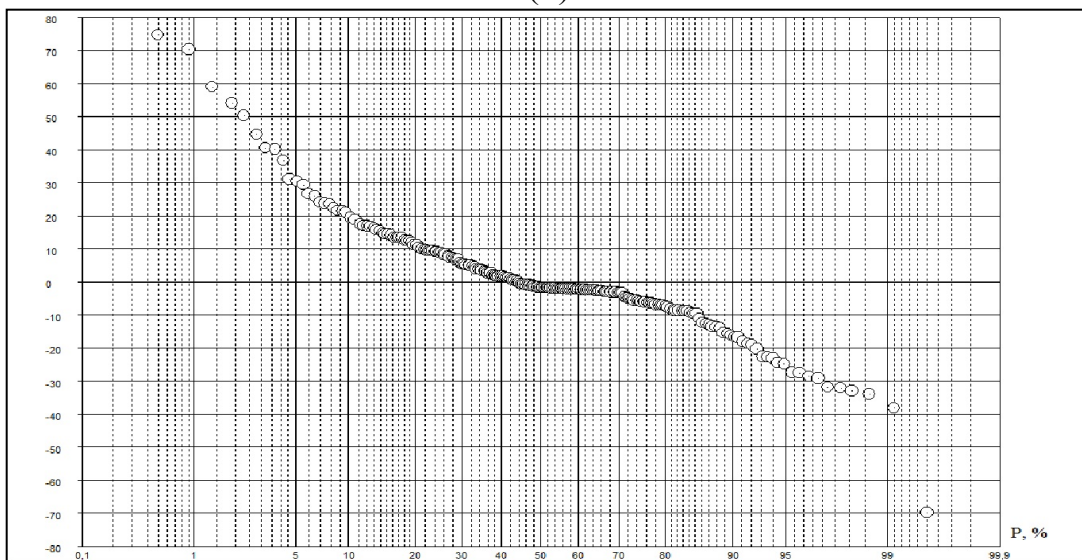
Как следует из представленных данных наименьшие погрешности расчетов средних годовых концентраций, полученные при не учете особенностей гидрохимической информации, оказались по кислороду, БПК₅ и ХПК. Так в этом случае относительные погрешности расчетов кислорода больше 20 % встречаются всего в 5 % случаев, ХПК в 7 % случаев и БПК в 10 % случаев.



(а)



(б)



(в)

Рисунок 4.2 - Кривые обеспеченности погрешностей оценки среднегодовых концентраций за счет не учета водности и неэквидистентности для железа общего (а), аммонийного азота (б) и БПК₅ (в).

Таблица 4.2 – Частота превышения относительных погрешностей в 20 и 10% за счет не учета особенностей гидрохимической информации.

Вещество	Относительная погрешность в %	
	20 %	10 %
Кислород	5 %	7 %
БПК ₅	10 %	20 %
ХПК	7 %	12 %
Аммонийный азот	20 %	40 %
нитритный азот	30 %	70 %
нитратный азот	20 %	35 %
фосфор минеральный	25 %	60 %
железо общее	30 %	50 %

Предварительный анализ показал, что по-видимому, меньшее влияние не учета особенностей имеющейся информации на погрешности расчетов средних годовых концентраций в этих случаях связано с меньшей внутригодовой и межгодовой изменчивостью этих показателей (таблица 2.2).

Наибольшие погрешности за счет не учета особенностей гидрохимической информации имеют нитритный азот и железо общее. Частота превышения относительных погрешностей в 20 % для них равна 30 %. В тоже время в 15 % случаев возможная относительная погрешность расчетов концентраций железа общего превышает 50 %, нитритного азота в 17% случаев.

Для выявления особенностей рядов среднегодовых концентраций были оценены основные числовые характеристики (среднее многолетнее, СКО, C_v) по формулам 2.1 – 2.3. В таблице 4.3 в качестве примера представлены средние многолетние значения и значения коэффициентов вариации для рядов среднегодовых концентраций различных форм азота, минерального фосфора и общего железа, рассчитанных с учетом и без учета особенностей гидрохимической информации.

Таблица 4.3 – Оценки среднего многолетнего значения и коэффициентов вариации для рядов среднегодовых значений концентраций.

вещество		Опочка – в.ств.		Опочка – н.ств.		Остров – в.ств.		Остров – н.ств.		Псков – в.ств.		Псков – н.ств.	
		Са, мг/л	Свнэ, мг/л	Са, мг/л	Свнэ, мг/л	Са, мг/л	Свнэ, мг/л	Са, мг/л	Свнэ, мг/л	Са, мг/л	Свнэ, мг/л	Са, мг/л	Свнэ, мг/л
N-NH ₄	среднее	0,088	0,089	0,101	0,098	0,151	0,168	0,167	0,165	0,207	0,225	0,222	0,227
	Cv	1,18	1,24	1,16	1,21	1,31	1,39	1,27	1,25	1,33	1,26	1,34	1,24
N-NO ₂	среднее	0,0032	0,0033	0,0122	0,0131	0,0042	0,0059	0,0066	0,0070	0,0073	0,0072	0,0124	0,0111
	Cv	0,85	0,81	1,60	1,88	0,72	1,13	1,09	1,05	1,07	0,94	1,61	1,38
N-NO ₃	среднее	0,307	0,317	0,367	0,394	0,329	0,380	0,370	0,436	0,447	0,462	0,533	0,537
	Cv	0,66	0,65	0,84	0,88	0,55	0,63	0,64	0,63	0,75	0,62	0,91	0,77
Fe	среднее	0,079	0,076	0,018	0,079	0,149	0,164	0,148	0,159	0,117	0,135	0,137	0,153
	Cv	0,92	0,95	0,95	0,89	0,72	0,71	0,77	0,73	0,67	0,59	0,73	0,78
P-PO ₄	среднее	0,0079	0,0076	0,0183	0,0175	0,0098	0,0107	0,0140	0,0133	0,0120	0,0189	0,0170	0,0160
	Cv	1,13	0,90	0,90	1,03	0,67	0,61	0,55	0,51	0,86	0,91	0,60	0,58

Здесь, C_a – концентрации полученные общепринятым методом (по формуле 4.1); $C_{внэ}$ – концентрации полученные при использовании комплексной методики. Из представленных в таблице 4.3 данных видно, что в большинстве случаев происходит уменьшение значения коэффициента вариации рядов среднегодовых значений концентраций при расчете по комплексной методике, иногда совсем незначительно. В 11 случаях из 30 представленных, то есть в 1/3, значения коэффициента вариации для рядов концентраций, рассчитанных с учетом особенностей гидрохимической информации больше, чем для рассчитанных по общепринятой методике. Более чем в половине случаев (21 случай из 30 рассмотренных) наблюдается увеличение среднего многолетнего значения. Иногда это увеличение не существенно, например, для средних многолетних концентраций азота аммонийного в пункте Опочка, верхний створ (0,088 мг/л при неучёте особенностей и 0,089 мг/л при учете особенностей исходных данных наблюдений). Встречаются случаи когда увеличение значительно, например для ряда концентраций общего железа в пункте Опочка (нижний створ) значение при расчете общепринятым методом составило 0,018 мг/л, а при использовании комплексной методики оценки среднегодовых концентраций среднее многолетние значений составило 0,079 мг/л.

Интересно было посмотреть как результаты расчета среднегодовой концентрации могут влиять на результаты оценки временной динамики содержания в воде того или иного вещества. Для этих целей были построены и проанализированы графики временной изменчивости содержания биогенов в водах реки Великая.

На рисунке 4.4 в качестве примера представлена временная динамика среднегодовых значений концентраций аммонийного азота в пункте Остров (Нижний створ). Здесь и далее на рисунках C_a – среднегодовая концентрация, полученная как среднеарифметическое значение, $C_{внэ}$ – среднегодовая

концентрация, полученная по комплексной методике учета водности и неэквидистентности.

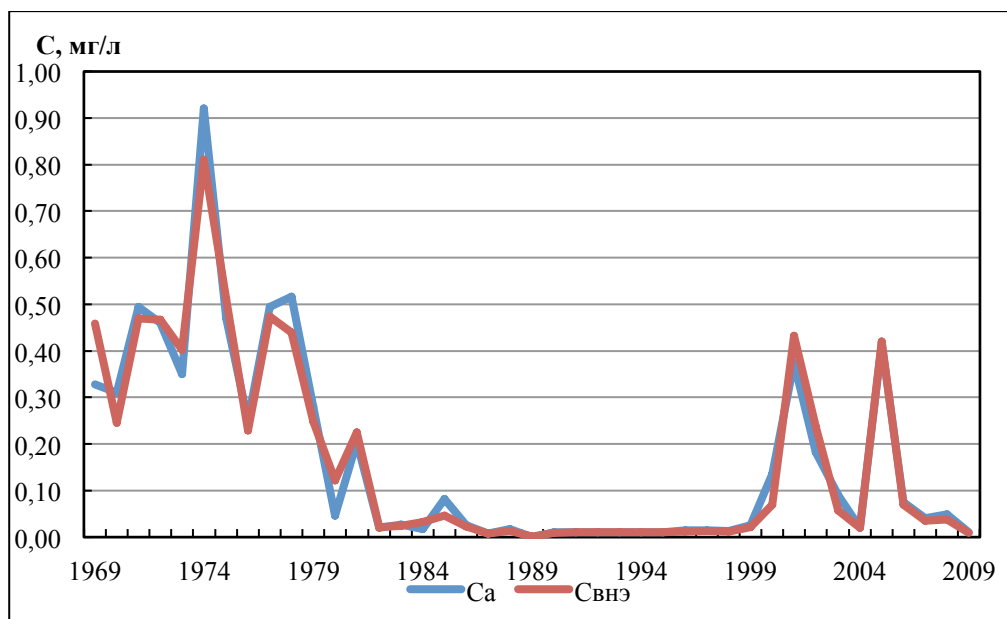


Рисунок 4.4 – Временная динамика среднегодовых концентраций аммонийного азота в пункте Остров (нижний створ), полученных с учетом и без учета водности и неэквидистентности.

Из рисунка видно, что общие тенденции изменения двух рядов концентраций совпадают, однако в отдельные годы при учете водности и неэквидистентности видно снижение максимальных значений и увеличение минимальных, например 1974 и 1980 годы. В 2001 году наоборот, значение полученное по комплексной методике превысило значение полученное как среднеарифметическое.

Из рисунка 4.5 видно, что ряд среднегодовых значений нитритного азота в пункте Опочка (нижний створ), полученный при использовании комплексной методики оценки, имеет более сглаженные экстремумы по сравнению с рядом среднегодовых значений, рассчитанных как среднеарифметическое. Например в 1973 и 1978 годах среднеарифметическое значение больше чем значение полученное с учетом особенностей исходных данных, а в 1972 году наоборот. В 1984 году мы видим, что среднегодовая концентрация, рассчитанная с учетом

водности и неэквидистентности, больше чем среднегодовая концентрация, рассчитанная без учета этих особенностей.

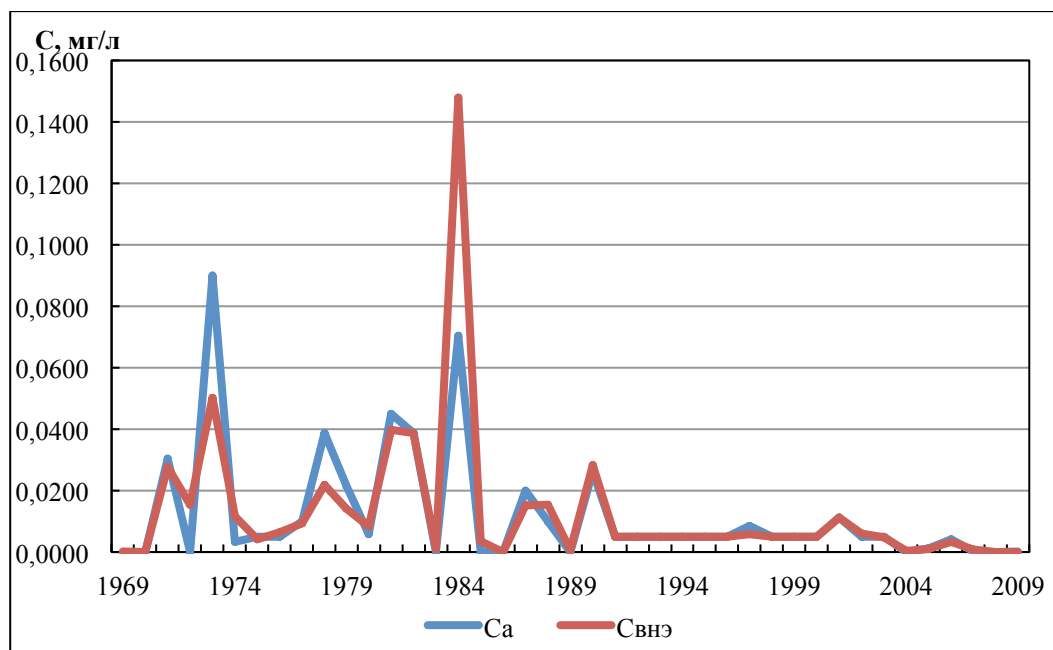


Рисунок 4.5 – Временная динамика среднегодовых концентраций нитритного азота в пункте Опочка (нижний створ), полученных с учетом и без учета водности и неэквидистентности.

На рисунке 4.6 представлена временная динамика нитратного азота в пункте Псков (верхний створ). Видно, что общая тенденция изменения среднегодовых концентраций совпадает вне зависимости от способа оценки. Следует отметить, что в большинстве случаев среднегодовая концентрация, полученная с учетом особенностей гидрохимической информации выше, чем среднегодовая концентрация, рассчитанная по общепринятой методике. Такой результат можно объяснить влиянием срока отбора пробы (меженный период или период половодья или паводка) и в таком случае, по-видимому, наибольшее влияние на результат оказывает именно учет водности.

Закономерности, описанные для нитратного азота в полной мере характерны и для временной динамики среднегодовых концентраций минерального фосфора в пункте Остров (верхний створ) (рисунок 4.7).

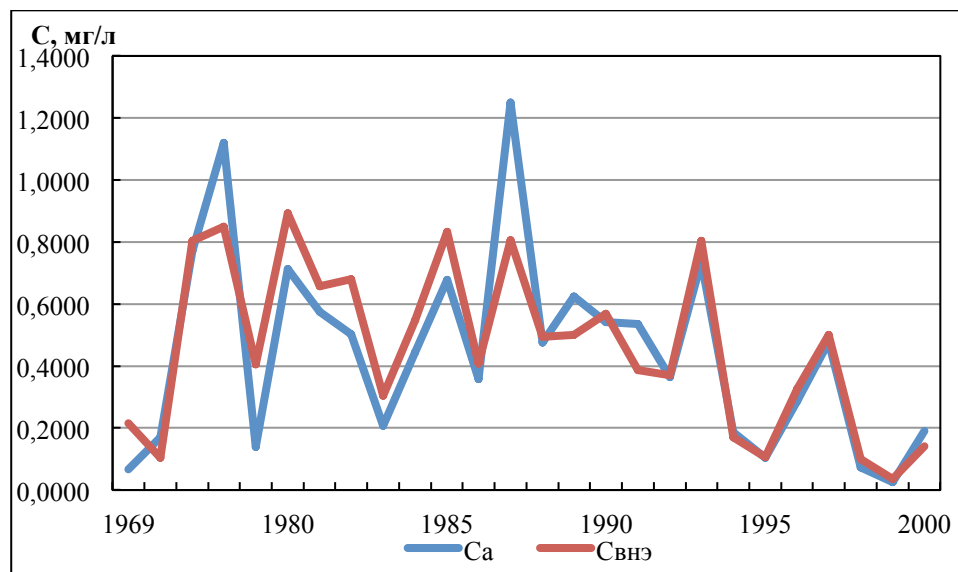


Рисунок 4.6 – Временная динамика среднегодовых концентраций нитратного азота в пункте Псков (верхний створ), полученных с учетом и без учета водности и неэквидистентности.

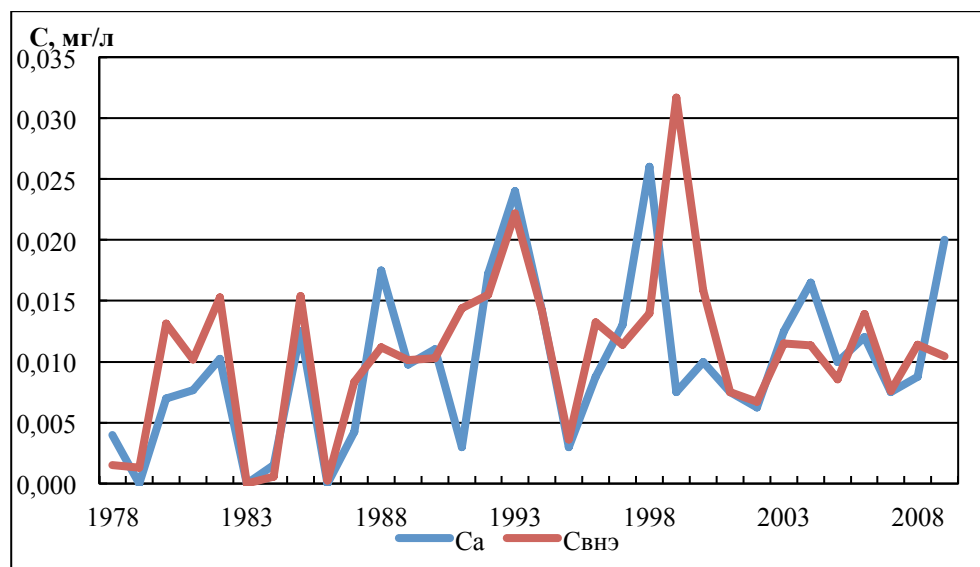


Рисунок 4.7 – Временная динамика среднегодовых концентраций фосфора минерального в пункте Остров (верхний створ), полученных с учетом и без учета водности и неэквидистентности.

На рисунке 4.8 представлена временная динамика содержания общего железа в пункте Опочка, верхний створ. Видно, что в большинстве случаев

значения среднегодовых концентраций с учетом и без учета водности практически совпадают.

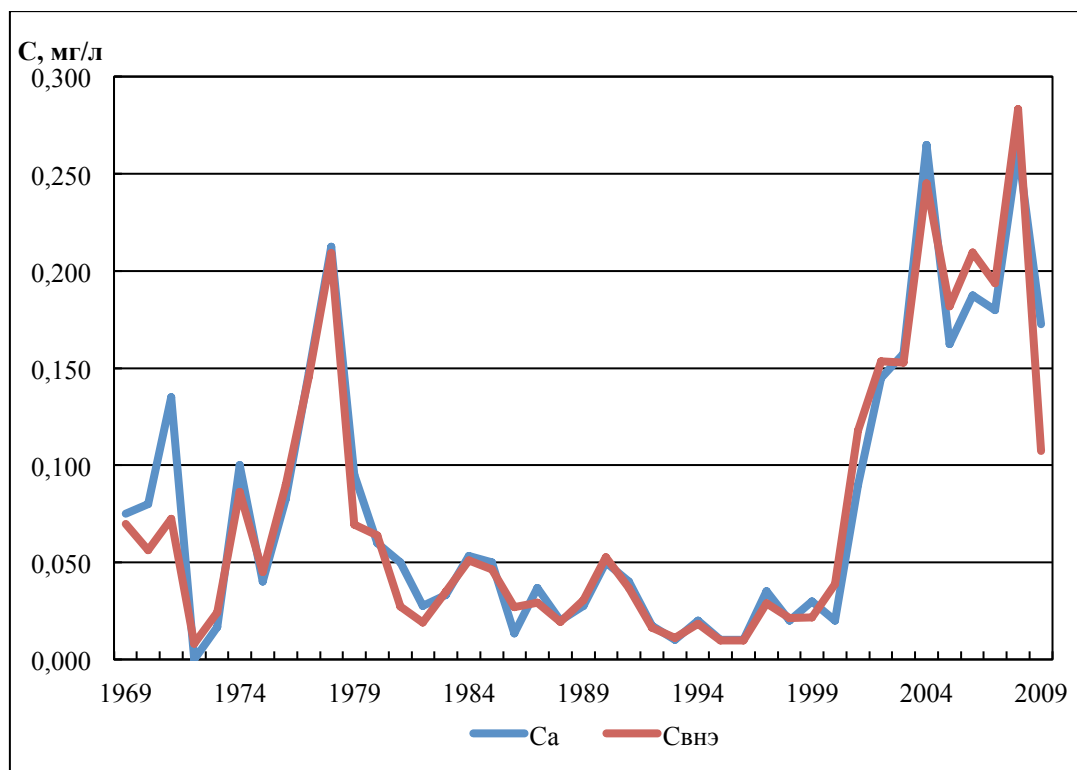


Рисунок 4.8 – Временная динамика среднегодовых концентраций железа общего в пункте Опочка (верхний створ), полученных с учетом и без учета водности и неэквидистентности.

В целом анализ всех графиков показал, что линия ряда значений среднегодовых концентраций, полученных по комплексной методике, имеет более сглаженный вид, чем линия полученная по ряду среднегодовых концентраций, рассчитанных как среднеарифметическое.

Более подробный анализ пространственной и временной динамики среднегодовых значений концентраций и объемов стока при учете и неучёте особенностей гидрохимической информации дан в главе 6 диссертации.

В результате были получены следующие выводы:

Не учет особенностей гидрохимической информации в геоэкологических расчетах может привести к серьёзным погрешностям достигающим в среднем 20 %, максимум 100 и более процентов.

Отрицательные значения погрешностей преобладают над положительными, то есть большинство значений среднегодовых концентраций уменьшается при расчете по комплексной методике.

При этом числовые характеристики рядов среднегодовых концентраций полученных с учетом и без учета особенностей исходных рядов в основном различаются не значительно, как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения.

Методика оценки среднегодовой концентрации существенно сказывается на результатах оценки пространственной и временной динамике концентраций и объемов стока биогенов по длине реки Великая. При учете водности и неэквидистентности графики имеют, зачастую, более сглаженный вид с менее выраженными экстремумами.

Для уменьшения погрешностей расчетов средних годовых концентраций и получения более объективной оценки о их изменениях во времени необходимо использовать предлагаемый метод комплексного учета особенностей гидрохимической информации

5 Анализ многолетних колебаний концентраций и объемов стока биогенов по длине реки Великой

Одной из важнейших задач работы является оценка пространственной и временной динамики стока биогенных элементов в бассейне реки Великая с учётом особенностей гидрохимической информации. В основе расчёта объема стока лежит понятие среднегодовой концентрации. В главе 4 была рассмотрена комплексная методика учёта особенностей гидрохимической информации при оценке среднегодовых концентраций содержащихся в воде веществ. Естественно, что точность расчёта среднегодовой концентрации напрямую влияет на точность расчёта объема стока.

Для оценки объемов стока исследуемых элементов по длине реки Великая в Псковское озеро, а также анализа динамики выноса биогенов по длине реки Великая по рядам среднегодовых концентраций был рассчитан объём стока по формуле [78]:

$$W_i = Q_i * S_i, [\text{тонн/год}] \quad (5.1)$$

где Q_i – расход воды за i -тый год, $\text{м}^3/\text{год}$; S_i – среднегодовая концентрация за i -тый год, $\text{тонн}/\text{м}^3$.

Для анализа приращения объемов стока рассматриваемых веществ и показателей между конкретными речными створами использовалась формула:

$$\Delta W = W_n - W_{\text{с}}, \quad (5.2)$$

где: W_n – объем стока в створе, расположенном ниже по течению реки, $W_{\text{с}}$ – объем стока в створе, расположенном выше по течению реки.

Анализ изменений стока биогенных элементов по длине реки Великая позволяет сопоставить выносы биогенов в отдельных створах реки. К тому же, с помощью такого анализа возможно оценить приращение стока с отдельных

частей водосбора, в том числе с территории города Псков. Это необходимо для выявления наиболее загрязнённых участков водосбора реки.

Для оценки изменения значений концентраций и объемов стока по длине реки была разработана методика на основе применения интегральных кривых среднегодовых значений концентраций и годовых объемов стока.

В данной главе на основе анализа интегральных кривых, рассматривается объем стока биогенных элементов с различных частей водосбора реки Великая и дается оценка влияния способа расчёта среднегодовой концентрации на результаты анализа пространственной и временной динамики стока биогенов по длине реки Великая.

5.1 Использование интегральных кривых в гидрологических исследованиях

Следует отметить, что стационарность процессов (характеристика процессов) и однородность имеющихся рядов наблюдений (характеристика и процессов и качества наблюдений) контролируются в общем одинаковыми статистическими показателями, и различие их может констатироваться только на основе физического анализа. Так для оценки стационарности и однородности по среднему значению и дисперсии часто используются критерии Стьюдента и Фишера [77]. В некоторых случаях нестационарность процесса может определяться наличием тренда. Для оценки наличия тренда обычно используется коэффициент корреляции значений рассматриваемого ряда X со временем или порядковым номером или критерий Спирмэна.

В последнее время выяснилось, что мощность этих критериев при имеющейся длине рядов наблюдений оказалась недостаточной в частности для суждения о наличии или отсутствии направленных постепенных изменений. Именно поэтому в данном случае была предпринята попытка использовать в этих целях интегральные кривые.

Разностные интегральные кривые получили широкое распространение с тридцатых годов прошлого столетия, когда они активно начали использоваться в водохозяйственных расчетах для расчетов многолетнего регулирования стока [6, 45]. С выходом переводной книжки Прикладная гидрология [32] широкое распространение в целях анализа однородности получили интегральные кривые.

Интегральные кривые представляют собой графическое отображение зависимости:

$$W_j = f(j), \quad (5.3)$$

где: W_j – нарастающая сумма значений ряда Y от первого до j -го члена ряда ($j=1, 2, \dots, n$), то есть:

$$W_j = \sum_{i=1}^j y_i, \quad (5.4)$$

y_i – i -тое значение ряда Y , i – порядковый номер значений y ; j – порядковый номер нарастающих сумм значений y .

Как следует из формулы (5.4):

$$W_j = W_{j-1} + y_j, \quad (5.5)$$

Зная W_i , можно на каждый данный момент i определить среднее значение ряда Y от 1-ого до i -ого члена ряда включительно:

$$\overline{y_j} = \frac{W_j}{j}, \quad (5.6)$$

Из определения интегральной кривой вытекают ее основные свойства:

- каждая ордината кривой зависимости (5.3) характеризует объем стока через данный створ от начала наблюдений (или принятого начала) до j -ого момента времени;
- разность ординат интегральной кривой при различных значениях аргумента j характеризует объем стока за интервал времени между этими значениями;
- при постоянном значении рассматриваемого элемента ($y=const$) интегральная кривая представляет собой прямую линию;
- с увеличением j и возрастанием суммы W_j роль отдельных значений ряда Y в сумме W_j уменьшается и, поэтому, отклонения отдельных точек от линии связи на графике уменьшаются, становятся все менее существенными. Поэтому (см. ниже) при $j \geq 5$ или 6 в крайнем случае 10 , при однородности ряда наблюдений практически все точки графика зависимости (5.3) ложатся на прямую линию связи.
- вместе с тем, при наличии какой либо тенденции в изменении рассматриваемых процессов, то есть накапливании отклонений в ту или иную сторону, происходит изменение направления линии связи.

Именно исходя из этих свойств в настоящее время интегральные кривые используются не только при расчетах регулирования стока, но и для выявления изменений тенденции развития процесса и времени начала этих изменений, то есть для определения переломных точек в многолетних колебаниях стока, если такие есть [77, 78]. Это позволяет выявить наличие тенденции в развитии процесса, даже если другими методами оценки однородности и стационарности она не выявляется.

Последнее определяется тем, что, как отмечалось выше, с увеличением j значимость отклонений средних значений в отдельные годы от средних многолетних значений в сумме W_j уменьшается и общий вид графика связи (5.3) определяется общей тенденцией нарастания суммы значений с

увеличением периода наблюдений. Именно поэтому на интегральных кривых более четко прослеживаются изменения многолетних колебаний рассматриваемого процесса, вызванные, как правило, влиянием хозяйственной деятельности или, что также бывает, погрешностями измерений.

5.2 Анализ изменчивости концентраций и объемов стока с помощью интегральных кривых

Интегральные кривые средних годовых концентраций для каждого соединения или показателя строились на отдельном рисунке. При этом на каждом рисунке совмещались данные по всем 6 створам наблюдений на р. Великой от верховья до низовья. Полученные графики представлены на рисунках 5.1 – 5.8. Ниже приводится анализ многолетней изменчивости концентраций и объемов стока по этим соединениям и показателям на основе этих графиков.

Растворенный кислород

Интегральные кривые концентраций растворенного кислорода (рис.5.1.а) практически совпадают во всех пунктах наблюдения. Незначительно выше остальных проходит интегральная кривая в пункте Опочка (верхний створ). В период после 1990 года несколько ниже остальных проходит кривая в пункте Псков (нижний створ).

Таким образом, концентрация кислорода вниз по реке несколько уменьшается, что вполне закономерно, учитывая усиление влияния хозяйственной деятельности вниз по течению реки.

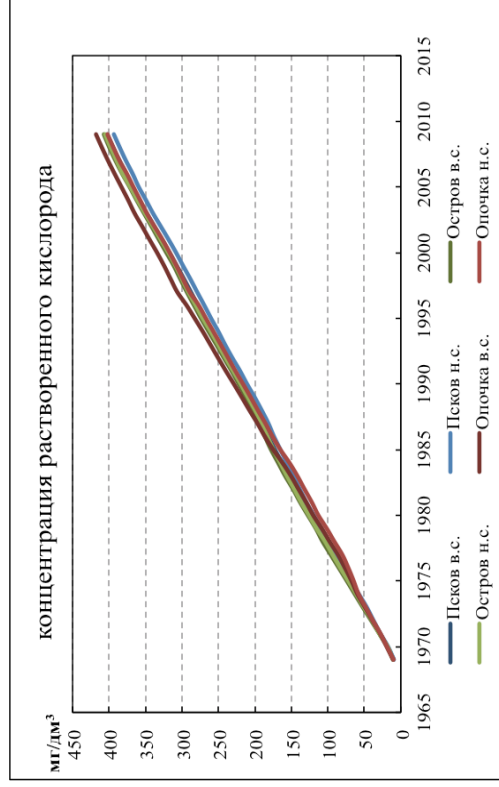
При этом во всех створах изменения интегральных кривых достаточно согласованы и имеют плавный ход без скачков и переломов. Таким образом изменения факторов внешнего воздействия почти не отразилось на изменения концентрации кислорода в речных водах.

Анализ интегральных кривых среднегодовых объемов стока растворенного кислорода (рисунок 5.1.б). показал более четкие различия стока между соседними створами. Действительно, вниз по течению реки Великой объем стока кислорода постоянно и существенно возрастает. Такое изменение вполне закономерно и связано просто с увеличением расходов воды вниз по течению реки. Следует отметить также, что увеличение объема стока растворенного кислорода с межгородских территорий, в большей степени, чем с городских, в данном случае опять таки связано с большим приращением речного стока с меж городских территорий (большие площади водосборов).

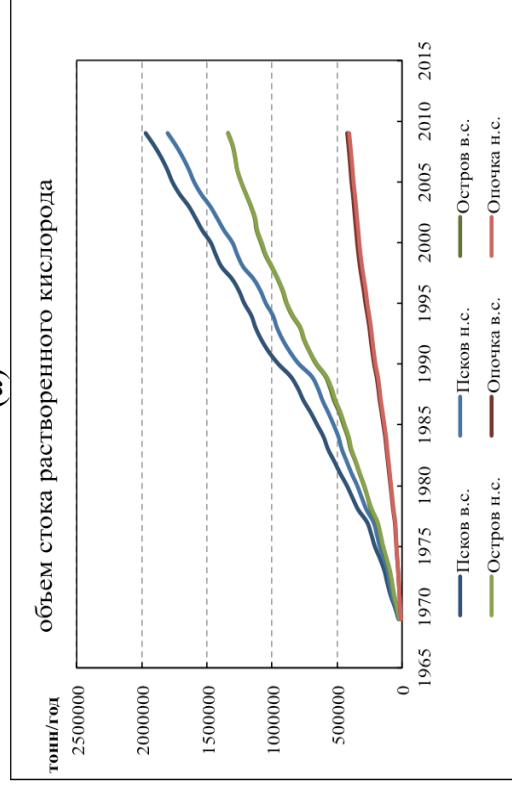
Органические соединения по БПК₅ и ХПК.

Показатель БПК₅ характеризует содержание в воде легкоокисляемых органических соединений. При анализе интегральных кривых среднегодовых значений концентраций БПК₅ (рис. 5.2.а) прежде всего следует отметить, что в рассматриваемых створах эти кривые нередко пересекаются. Это означает, что на участках между этими створами происходит уменьшение концентраций. Такое распределение значений концентраций можно объяснить, главным образом, процессами разбавления за счет более чистого бокового притока с межгородских территорий.

Это подтверждается и тем, что (рисунок 5.2.б) интегральные кривые значений объемов стока БПК₅ (произведения концентраций на расходы воды) не пересекаются. При этом видно, что приращение объемов стока БПК₅ с межгородских территорий больше чем с территорий городов. Если рассматривать отдельно городские территории, то видно, что наибольший прирост объемов стока происходит с территории города Псков. При этом на всех интегральных кривых отсутствуют скачки или переломы, что подтверждает полученный ранее вывод об однородности этих рядов наблюдений и стационарности рассматриваемых процессов.

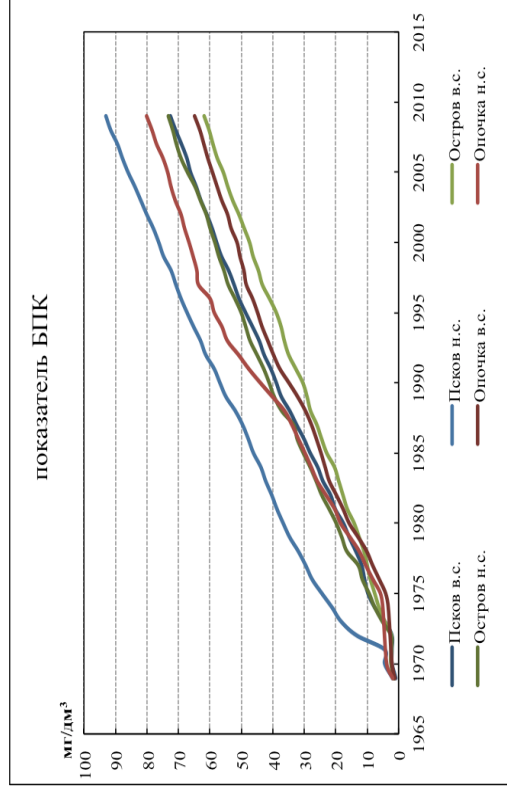


(а)

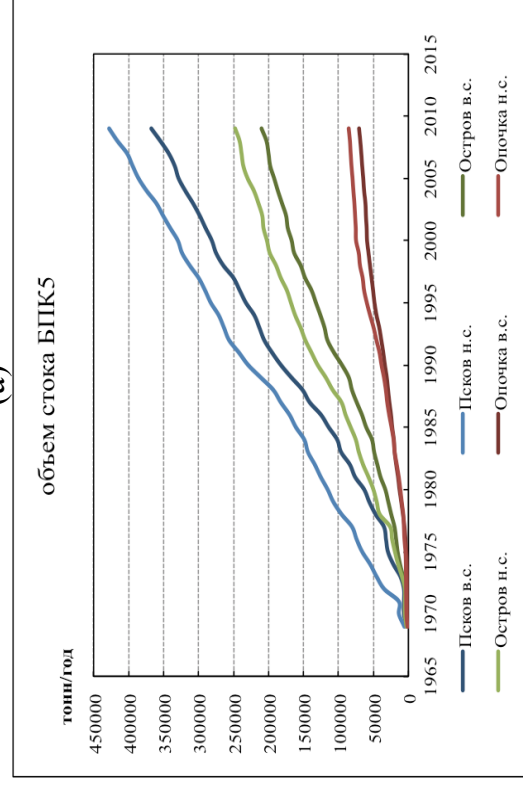


(б)

Рисунок 5.1 – Интегральные кривые средних годовых значений концентраций (а) и объемов стока (б) растворенного кислорода по длине реки Великая

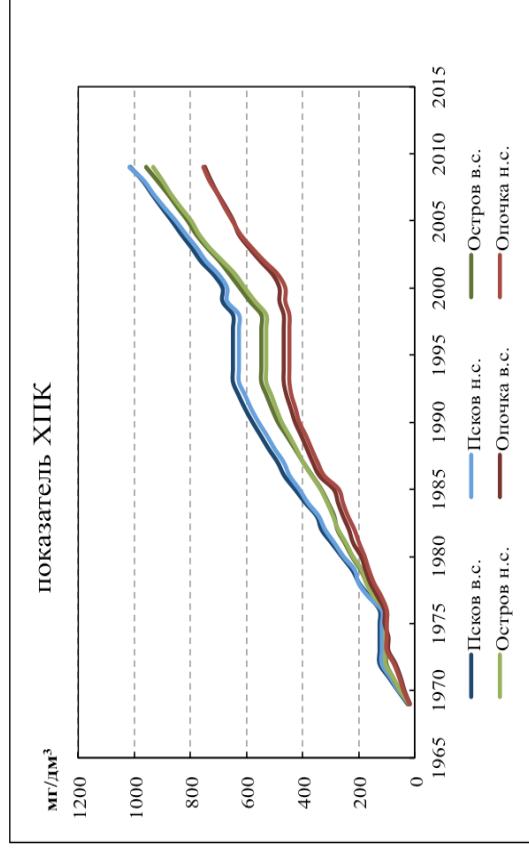


(а)

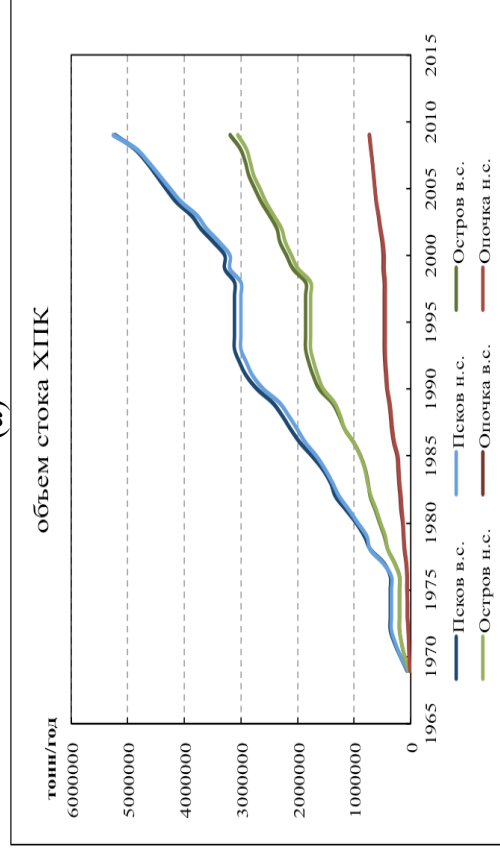


(б)

Рисунок 5.2 – Интегральные кривые средних годовых значений показателя (а) и объемов стока (б) БПК5 по длине реки Великая

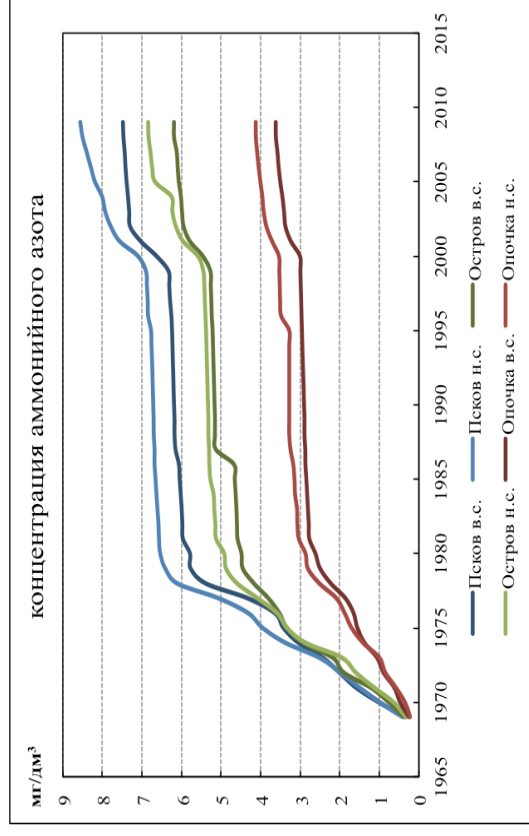


(а)

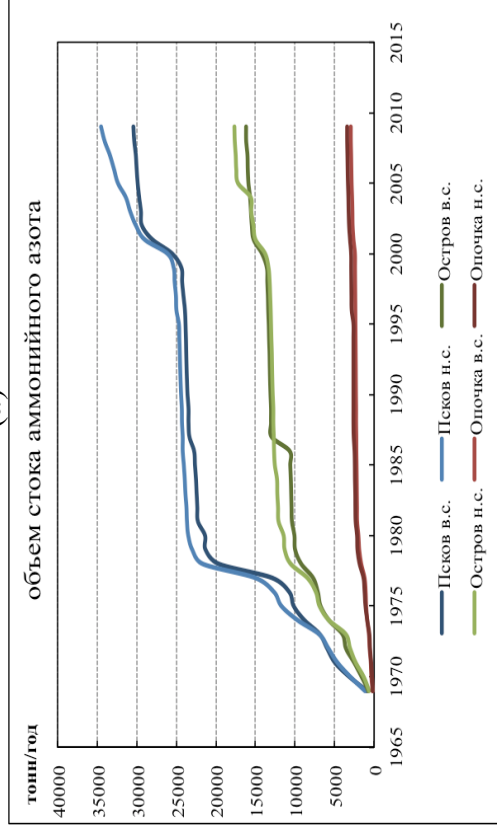


(б)

Рисунок 5.3 – Интегральные кривые среднегодовых значений показателя (а) и объемов стока (б) ХПК по длине реки Великая



(а)



(б)

Рисунок 5.4 – Интегральные кривые среднегодовых значений концентраций (а) и объемов стока (б) аммонийного азота по длине реки Великая

Значения среднегодовых значений показателя содержания в воде трудно окисляемых органических веществ ХПК во всех створах наблюдения имеют идентичный ход и не пересекаются. Так из рисунка 5.3.а видно, что имеются 2 периода «плато» - до 1975 года и с 1993 по 2000 годы и два периода нарастания значений – с 1975 по 1993 год и, наиболее интенсивное, с 2001 года по 2009. При этом превышение интегральных кривых ХПК в городах в нижних створах над верхними значительно меньше чем на межгородских территориях.

Таким образом, можно сделать вывод, что значения показателя ХПК нарастают главным образом между городами и в меньшей степени поступают с городских территорий. Аналогичные выводы можно получить при анализе интегральных кривых объемов стока (рисунок 5.3.б).

Соединения азота

На рисунке 5.4.а представлены интегральные кривые среднегодовых концентраций аммонийного азота. Видно, что линии интегральных кривых не пересекаются и каждая линия створа, расположенного ниже по течению, проходит над предыдущей, что говорит об увеличении значений концентраций по длине реки. Наиболее значительные увеличения наблюдаются на межгородских территориях. Из всех городских территорий наибольший прирост значений концентраций аммонийного азота характерен для города Псков.

Также можно отметить, что интегральные кривые во всех створах наблюдения имеют синхронный ход и переломы. Так до начала 1980-х годов наблюдается резкое нарастание значений, затем с 1980 по 2000 годы наблюдается «плато», когда значения концентраций нарастают незначительно. После 2000 года опять видно увеличение значений. Это связано, по-видимому, с экономической ситуацией в стране и развитием сельского хозяйства и промышленности. Очевидно, что в конце 1980-х и в 1990-е года наблюдался значительный спад производства, а после 2000 года началось возрождение промышленности и сельского хозяйства в регионе. Эти выводы подтверждает

анализ хозяйственной деятельности, проведенный ранее в главе 1 работы. Динамика изменения объемов стока полностью согласуется с изменением концентраций (рисунок 5.4.б).

На рисунке 5.5.а представлены интегральные кривые нитритного азота в разных створах наблюдения. Очевидно, что изменения среднегодовой концентраций нитритного азота в различных створах различно. Так, в пункте Опочка наблюдается наибольшее приращение значений нитритного азота между верхним и нижним створами, причем интегральная кривая концентрации в нижнем створе после 1985 года располагается выше всех остальных кривых на других створах, то есть приращение концентраций в городе Опочка на много больше, чем в других местах интегральная кривая концентраций в верхнем створе не имеет резких изломов и скачков. В целом интегральные кривые среднегодовых концентраций нитритного азота в пунктах, расположенных выше городов имеют значительно более плавный ход, чем кривые в створах, расположенных ниже по течению. Наиболее интенсивное увеличение значений отмечалось до 1985 года по всем створам. Это говорит о том, что наибольшее влияние на содержание нитритного азота в водах реки оказывают городские территории, в то время как за пределами городов мы наблюдаем снижение значений концентраций. Это может быть связано главным образом с процессами разбавления речных вод за счет бокового притока. Кроме того необходимо учитывать, что нитритный азот является самой неустойчивой формой азота и под влиянием внешних факторов легко переходит в другие формы, например нитратный азот. Стоит также отметить, что сами по себе наблюдаемые концентрации нитритного азота невелики и на много меньше ПДК. Поэтому возможно и это отразилось на вид семейства интегральных кривых. Из всех городов по длине реки Великая наименьший вклад в загрязнение вносит город Остров.

Анализ интегральных кривых среднегодовых значений объема стока нитритного азота (рисунок 5.5.б) подтверждает выводы, полученные при анализе интегральных кривых значений концентраций. Так, очевидно, что

наибольший вклад в загрязнение реки Великая нитритным азотом вносят территории городов. До 1985 года наблюдается интенсивное увеличение значений объема стока. Уменьшение значений концентраций и объемов стока после 1985 года связано, вероятно, с общим падением производства в регионе и стране в целом.

На рисунке 5.6.а представлены интегральные кривые среднегодовых концентраций нитратного азота. Из представленных данных видно, что до 1978 года не происходит существенного нарастания кривых, то есть в этот период значения концентраций не велики. Далее после 1978 года во всех створах наблюдается плавное нарастание значений с отдельными незначительными скачками в разных створах. Наиболее выражено увеличение значений концентраций в пункте Псков (нижний створ) с 1989 года. Это может быть связано с износом очистных сооружений города и как следствие снижением степени очистки сточных вод. В пунктах Остров и Псков наблюдается небольшое увеличение значений после 2000 года, что может быть связано с увеличением промышленного производства в этот период. Если оценивать пространственную динамику, то видно, что внутри городских территорий наблюдается увеличение значений концентраций от верхнего створа к нижнему. Если оценивать межгородские территории, то между городами Опочка и Остров не происходит увеличения значений концентраций, более того от нижнего створа города Опочка до верхнего створа города Остров мы видим снижение значений. Это вызвано по-видимому, как и в других случаях разбавлением вод за счет бокового притока. При этом, увеличение значений концентраций нитратного азота от нижнего створа города Остров до верхнего створа города Псков на много превышает увеличение на других участках р. Великой.

Временная динамика значений объемов стока аналогична динамике изменений значений концентраций нитратного азота (рисунок 5.6.б.). Как и в предыдущих случаях интегральные кривые значений объема стока нитратного азота не пересекаются, то есть идет постоянное нарастание объемов стока вниз

по реке. Важно также, что наибольший сток наблюдается с межгородских территорий, что говорит о преобладающем влиянии сельского хозяйства на загрязненность реки Великая нитратным азотом.

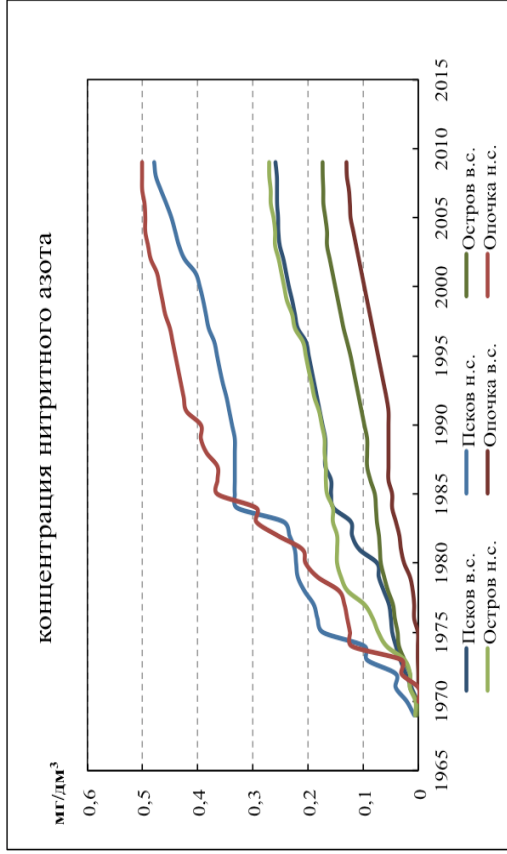
Фосфор минеральный.

Интегральные кривые значений концентраций минерального фосфора в рассматриваемых пунктах наблюдения на реке Великая (рисунок 5.7.а.) нередко пересекаются.

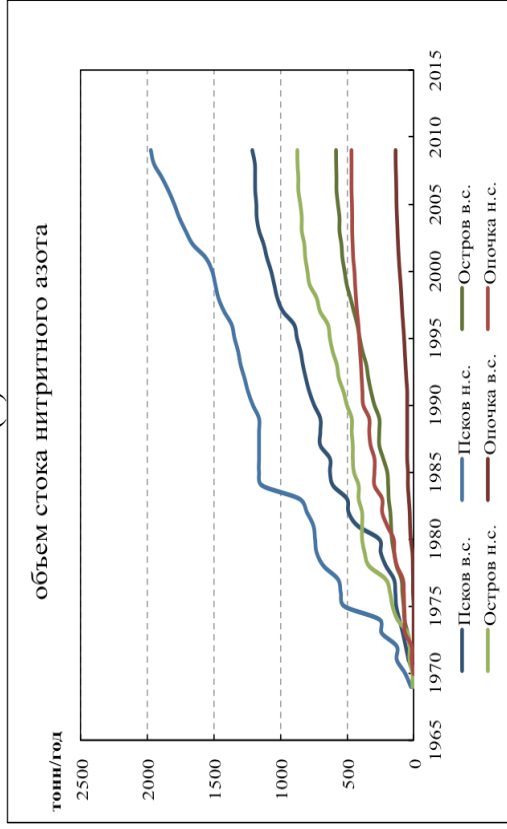
В верхнем и нижнем створах города Опочка интегральные кривые имеют несколько синхронных перегибов (например, увеличение значений в период 1998-2001), но в целом их ход существенно различается. Кривая значений концентраций в нижнем створе имеет большее количество изломов и проходит значительно выше, а после 1987 года располагается выше всех остальных интегральных кривых в других створах. С течением времени расстояние между кривыми увеличивается, что говорит о большой интенсивности поступления фосфора с городской территории.

В городе Остров интегральные кривые минерального фосфора в верхнем и нижнем створе имеют достаточно плавный ход без значительных перегибов и скачков значений. После 1997 года интегральные кривые сближаются за счет снижения интенсивности нарастания значений в нижнем створе. Это говорит о том, что поступление минерального фосфора в реку Великая от города Остров после 1997 г. немного снизилось.

В городе Псков до 1987 года значения концентраций в верхнем створе существенно превышали значения в нижнем створе (рис. 5.7.а) . Возможно это объясняется разбавлением сточных вод притоками р. Великой в городе Псков. Последнее подтверждается тем что объемы стока фосфора в этот период в нижнем створе были больше , чем в верхнем. После 2000 года в верхнем створе видны несколько резких увеличений значений концентраций, тогда как в нижнем створе это увеличение носит плавный характер.

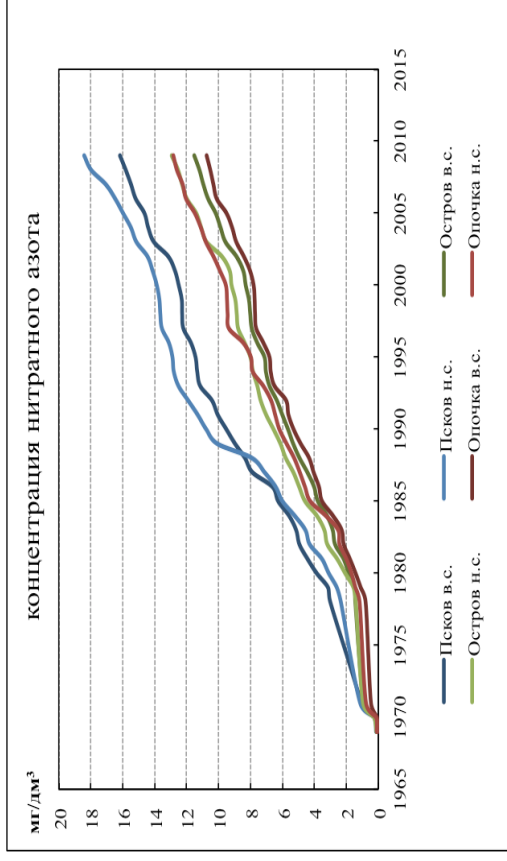


(а)

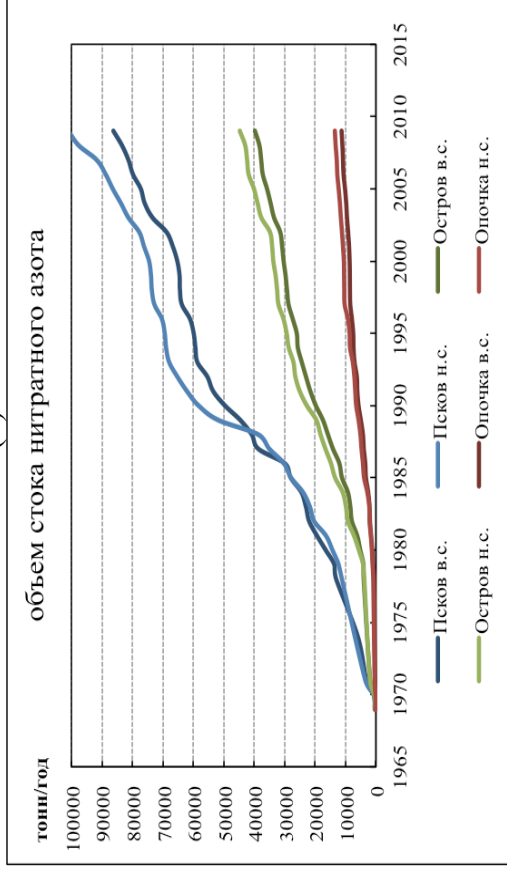


(б)

Рисунок 5.5 – Интегральные кривые среднегодовых значений концентраций (а) и объемов стока (б) нитритного азота по длине реки Великая

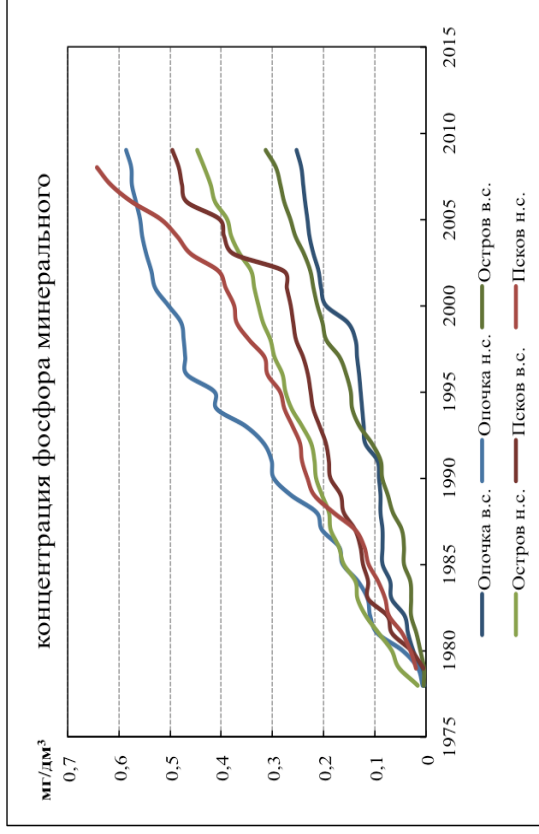


(а)

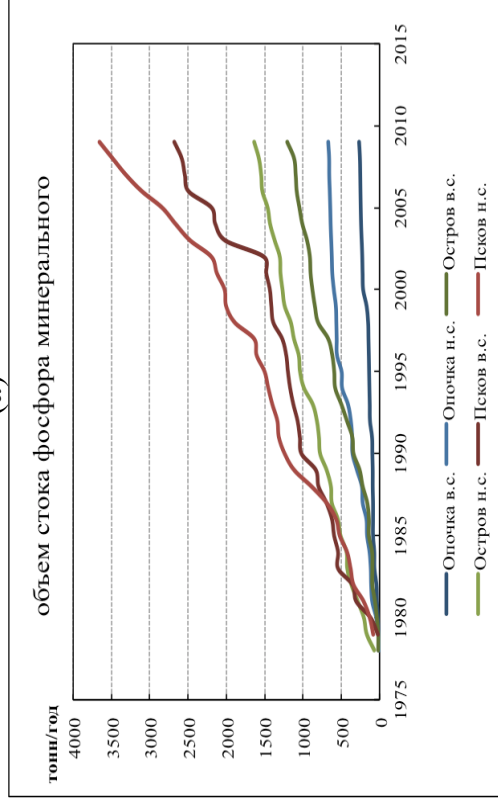


(б)

Рисунок 5.6 – Интегральные кривые среднегодовых значений концентраций (а) и объемов стока (б) нитратного азота по длине реки Великая

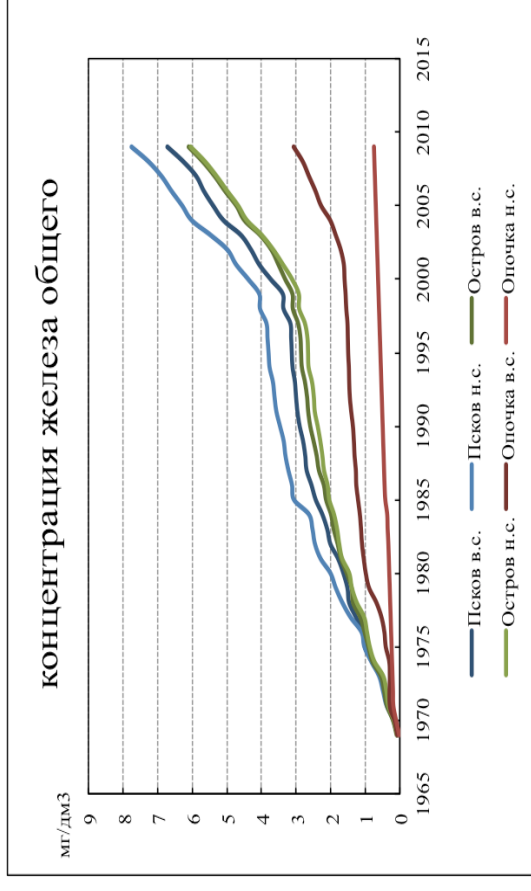


(а)

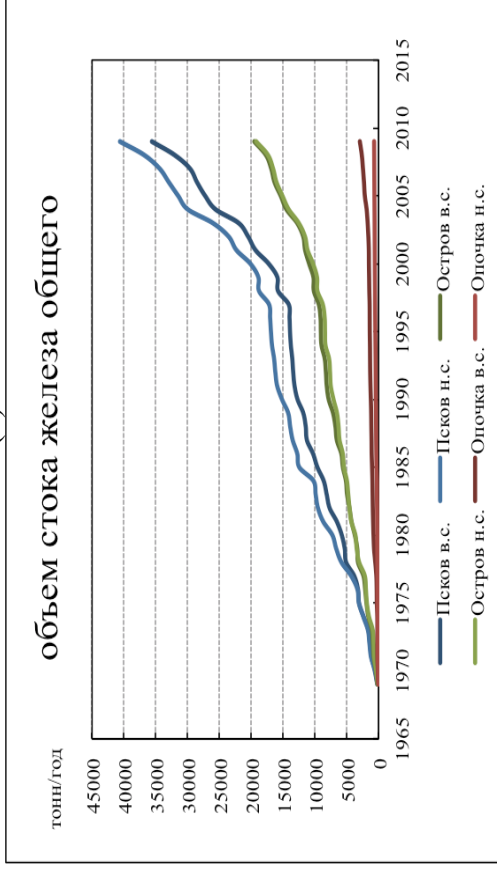


(б)

Рисунок 5.7 – Интегральные кривые среднегодовых значений концентраций (а) и объемов стока (б) минерального фосфора по длине реки Великая



(а)



(б)

Рисунок 5.8 – Интегральные кривые среднегодовых значений концентраций (а) и объемов стока (б) общего железа по длине реки Великая

Интересно было бы оценить современную ситуацию, учитывая проведенную модернизацию и реконструкцию очистных сооружений города Псков.

Интегральные кривые значений объемов стока фосфора минерального существенно отличается от интегральных кривых изменений концентраций. (рисунок 5.7.б). Здесь, начиная с девяностых годов, в отличие от хода изменений концентраций, интегральные кривые не пересекаются, то есть идет постоянное нарастание по всей реке объемов стока.. Важно также, что наибольший сток наблюдается с межгородских территорий, что говорит о преобладающем влиянии сельского хозяйства на загрязненность реки Великая минеральным фосфором.

Железо общее.

На рисунке 5.8.а представлены интегральные кривые значений среднегодовых концентраций железа общего. Из представленных данных следует, что во всех створах наблюдений интегральные кривые имеют примерно одинаковый ход. Так во всех створах значения концентраций плавно нарастают до 1985 года, затем в период 1985-1999 года видно некоторое снижение значений концентраций и за счет этого менее интенсивное нарастание интегральных кривых. Затем после 1999 года во всех створах, кроме города Опочка (нижний створ) наблюдается резкое увеличение значений. Если оценивать пространственную динамику, то видно, что интегральные кривые концентраций в нижних створах городов Опочка и Остров проходят ниже кривых в верхних створах, что говорит о снижении значений в черте города. При этом снижение в городе Остров незначительно, а в городе Опочка намного более существенно. В городе Псков значения концентраций в нижнем створе превышают значения, полученные в верхнем створе, то есть значения концентраций в черте города возрастают. Если говорить о межгородских территориях, то очевидно увеличение значений концентраций. Между

городами Опочка и Остров это увеличение куда более значительное, чем между городами Остров и Псков.

Анализ интегральных кривых объемов стока железа общего (рисунок 5.8.б показал, что основным источником поступления железа являются межгородские территории. Из городов наибольший вклад в содержание железа общего в воды реки Великая вносит город Псков.

Таким образом анализ изменчивости концентраций и объемов стока биогенных элементов по длине реки Великая на основе сопоставления интегральных кривых показал, что:

С конца 1980-х до конца 1990-х наблюдается снижение интенсивности нарастания интегральных кривых. По-видимому это уменьшение связано, во первых, с борьбой за экономию, охватившую Россию в начале этого периода, а во вторых, с кризисом конца восьмидесятых и весь период девяностых лет. В этот период резко упало промышленное производство и практически прекратился вывоз минеральных удобрений на поля. Как следствие уменьшилось поступление биогенов в р. Великую.

Для большинства рассматриваемых веществ и показателей характерно увеличение значений концентраций и объемов стока. После 2000 года почти по всем створам и элементам интенсивность возрастания интегральных кривых увеличилась по всем створам. Это означает, что с этого года увеличилось поступление рассматриваемых соединений и показателей что, по-видимому, связано с некоторым оживлением промышленности и сельского хозяйства.

Наибольший объем растворенного кислорода, органических соединений (по БПК₅ и ХПК), азота аммонийного, азота нитратного и железа общего поступает с межгородских территорий. Это может быть связано с влиянием сельскохозяйственных работ, в частности внесением удобрений.

Для азота нитритного и фосфора минерального объем стока с межгородских территорий и с территорий городов является практически равнозначным. Это говорит о практически равном влиянии на содержания этих

элементов водах реки промышленности, сельского хозяйства, коммунально-бытовых сточных вод и бокового притока.

Интегральные кривые являются достаточно надежным инструментом для оценки пространственной и временной динамики концентраций и объемов стока. Подобное визуальное представление данных позволяет оценить динамику содержания вещества в водотоке сразу по всем створам наблюдения.

5.3 Баланс стока биогенов по реке Великая с учетом особенностей гидрохимической информации

Как было показано ранее в работе, ряды данных гидрохимических наблюдений обладают рядом особенностей, которые необходимо учитывать в процессе их обработки. В частности, представляется необходимым учитывать особенности рядов наблюдений при оценке среднегодовых концентраций. Для этих целей в главе 4 была разработана и описана комплексная методика учета водности и неэквидистентности при оценке среднегодовой концентрации. Интересно было оценить как методика расчета среднегодовой концентрации может влиять на результаты оценки пространственной и временной динамики объемов стока.

Для этих целей по формуле 5.1 были рассчитаны среднегодовые объемы стока на основе среднегодовой концентрации, рассчитанной общепринятым традиционным способом, и по комплексной методике, предложенной в главе 4 данной работы. Для оценки поступления биогенных веществ с различных частей водосбора были оценены значения ΔW по формуле 5.2, при расчете по двум видам среднегодовых концентраций. Результаты расчета среднегодовых приращений объемов стока представлены в таблицах В.1-В.6 приложения В. Здесь $\Delta W_{\text{Исток-Опочка}}$ – приращение объема стока между истоком реки и верхним створом города Опочка, $\Delta W_{\text{Опочка}}$ – приращение между верхним и нижним створами города Опочка, $\Delta W_{\text{Опочка-Остров}}$ – приращение между нижним створом города Опочка и верхним створом города Остров, $\Delta W_{\text{Остров}}$

– приращение между верхним и нижним створами города Остров, $\Delta W_{\text{Остров-Псков}}$ – приращение между нижним створом города Остров и верхним створом города Псков, $\Delta W_{\text{Псков}}$ – приращение между верхним и нижним створом города Псков; «Са» - значение средних годовых концентраций, рассчитанное по общепринятой методике; «Свнэ» - значение средних годовых концентраций, рассчитанное по комплексной методике.

Из представленных данных видно, что в большинстве случаев значения объемов стока рассматриваемых веществ и показателей, рассчитанных по двум методикам, достаточно существенно различаются. Не редки случаи, когда значения объемов стока, рассчитанные на основе среднегодовой концентрации полученной по общепринятой методике и на основе среднегодовой концентрации полученной по комплексной методике, различаются очень существенно. Иногда по таким значениям можно получить диаметрально противоположные результаты по приращению объемов стока между соседними створами. Так например из таблицы В.1 видно что в 1999 году изменение объемов стока растворенного кислорода между верхним и нижним створами города Опочка составило 33 тонны/год при оценке по общепринятой методике и -486 тонн/год при оценке по комплексной методике. Или в 1994 году изменение объемов стока растворенного кислорода между створами города Остров составило -1708 тонн/год при оценке среднегодовых концентраций стандартным способом и 1336 тонн/год при оценке среднегодовой концентрации по предлагаемой методике.

Аналогичные результаты можно наблюдать по всем рассматриваемым веществам. Так, для аммонийного азота в 1974 году объем стока между нижним створом города Остров и верхним створом города Псков составил -188,5 и 275,7 тонн/год при оценке среднегодовой концентрации по общепринятой и комплексной методиках соответственно (таблица В.2). Приращение объемов стока нитритного азота между пунктами Опочка и Остров в 1973 году составили -34,12 и 23,14 тонн/год при оценке среднегодовых концентраций по различным методикам (таблица В.3).

Из таблицы В.4 видно, что для азота нитратного изменение объема стока между верхним и нижним створами города Остров составляло в 2000 году 112 и -1208 тонн/год, а в 2001 году -114 и 820 тонн/год при оценке среднегодовых значений концентраций по общепринятой методике и с учетом особенностей гидрохимической информации.

Для более наглядного отображения значений объемов стока, полученных на основе среднегодовых концентраций, рассчитанных по различным методикам, были построены графики временной изменчивости значений объемов стока в верхнем и нижнем створе каждого пункта наблюдений. Рассмотрим влияние расчета среднегодовой концентрации по различным методикам на результаты оценки баланса биогенов по длине реки Великая для каждого вещества отдельно.

На рисунке 5.9 в качестве примера представлены графики изменений во времени значений годового объема стока кислорода в пункте Опочка, рассчитанные на основе оценки среднегодовой концентрации различными методами. Очевидно, что значения объемов стока, вне зависимости от метода оценки среднегодовой концентрации, имеют общую тенденцию изменений как в верхнем, так и в нижнем створе. С начала 1980-х годов по конец 1990-х происходило общее увеличение значений стока растворенного кислорода. Это может говорить об уменьшении загрязненности реки в этот период и об увеличении загрязненности после начала 2000-х. Значения объемов стока растворенного кислорода имеют схожие тенденции во всех других пунктах наблюдения, только в пункте Псков увеличение значений в 1980-1990-е годы менее выражено (приложение В).

Интересно, что в данном случае влияние уточнений за счет учета особенностей гидрохимической информации незначительно. Только в 1980 году в верхнем створе г. Опочка значение объема стока кислорода, полученное на основе среднегодовых концентраций, рассчитанных по комплексной методике, ниже, и значительно отличается от объема стока, рассчитанного по среднегодовой концентрации, полученной традиционным методом. В чем

причина неэффективности предлагаемого комплексного метода в данном случае. Скорее всего она заключается в очень низкой внутригодовой изменчивости содержания концентраций кислорода.

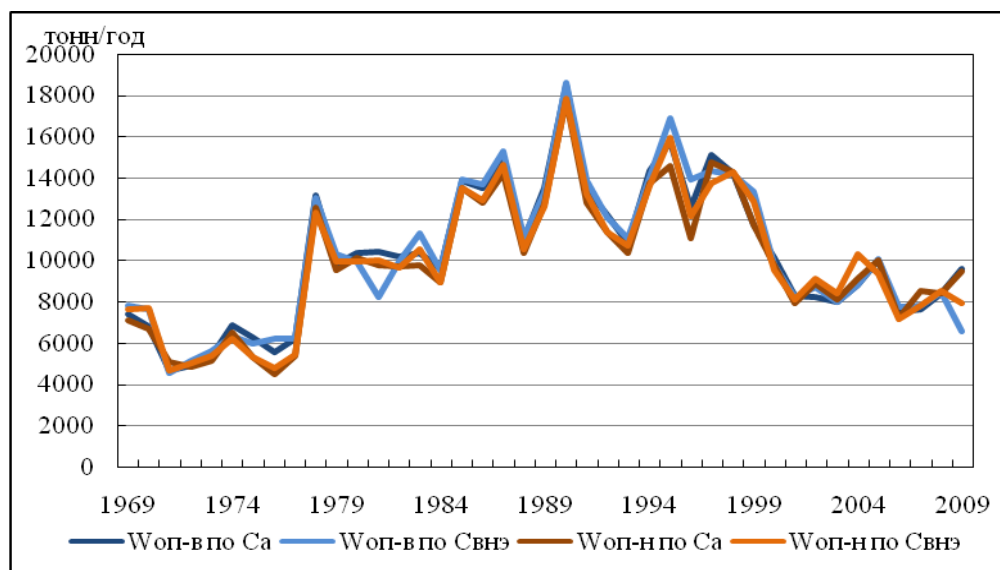


Рисунок 5.9 – Среднегодовые значения объемов стока растворенного кислорода в пункте Опочка на основе оценки среднегодовой концентрации с учетом и без учета особенностей гидрохимической информации.

На рисунке 5.10 в качестве примера представлены календарные значения годовых объемов стока аммонийного азота в городе Остров. Здесь также видно, что основная тенденция и основные пики значений объемов стока на верхнем и нижнем створах совпадают. Видно, что к середине 1980-х значения объемов стока снижаются и остаются достаточно низкими до начала 2000-х годов. После 2000 года видно два ярко выраженных увеличения значений объемов стока – в 2001 и 2005 годах. Исключение составляет 1987 г., когда в независимости от метода расчета в верхнем створе годовой объем азота аммонийного в десятки раз превышает годовой объем в нижнем створе. В целом аналогичная динамика значений объемов стока характерна и для городов Остров и Псков. Это связано вероятнее всего с экономической ситуацией в стране в целом и в регионе исследования в частности.

Следует отметить, что общий ход значений объемов стока во времени рассчитанный на основе среднегодовых концентраций, полученных

различными методами, достаточно хорошо совпадает. Однако отклонения объемов в отдельные годы в зависимости от метода расчетов концентраций в данном случае гораздо больше, чем по кислороду и могут составлять до 20 процентов.

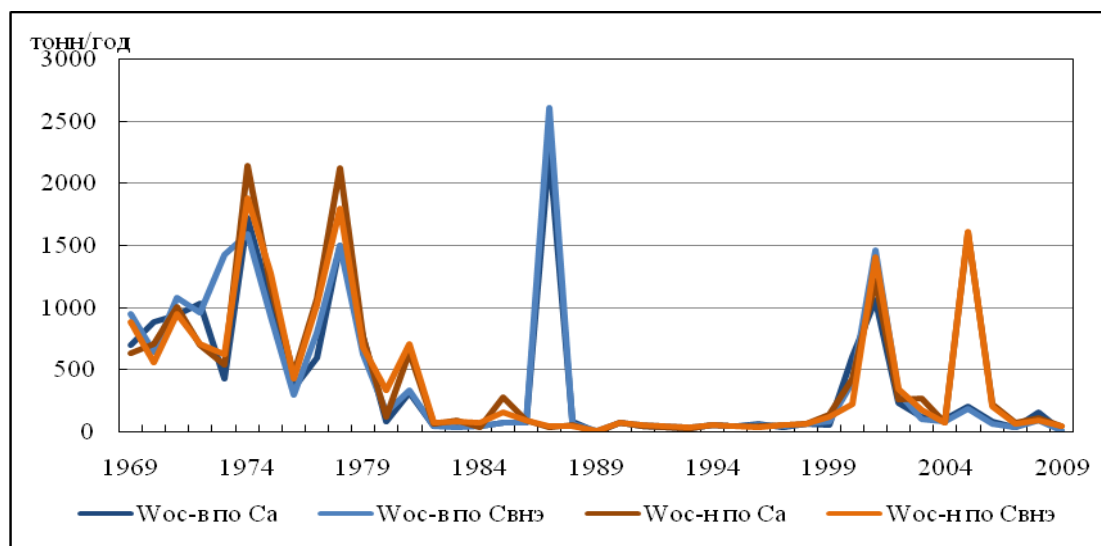


Рисунок 5.10 – Среднегодовые значения объемов стока азота аммонийного в пункте Остров на основе оценки среднегодовой концентрации с учетом и без учета особенностей гидрохимической информации.

Следует отметить, что при оценке значений объема стока на основе комплексной методики расчета среднегодовой концентрации чаще всего пики графика имеют более сглаженный характер, то есть максимальные значения концентраций и, следовательно, объемов стока немного ниже, нежели при оценке общепринятым методом. Однако могут наблюдаться и обратные ситуации, когда значение, полученное по комплексной методике выше значения полученного по общепринятому методу, например, в 1973 году в верхнем створе.

Для оценки влияния методики оценки среднегодовой концентрации на результаты анализа пространственной динамики была построена гистограмма средних многолетних значений объемов стока во всех створах наблюдений. Результат представлен на рисунке 5.11. Из рисунка видно, что наибольшие

приращения значений объемов стока аммонийного азота наблюдается между городами, в то время как внутри городских территорий приращение незначительно. Это говорит о том, что вероятнее всего основным источником поступления азота аммонийного в воды реки Великой является сток с сельскохозяйственных угодий.

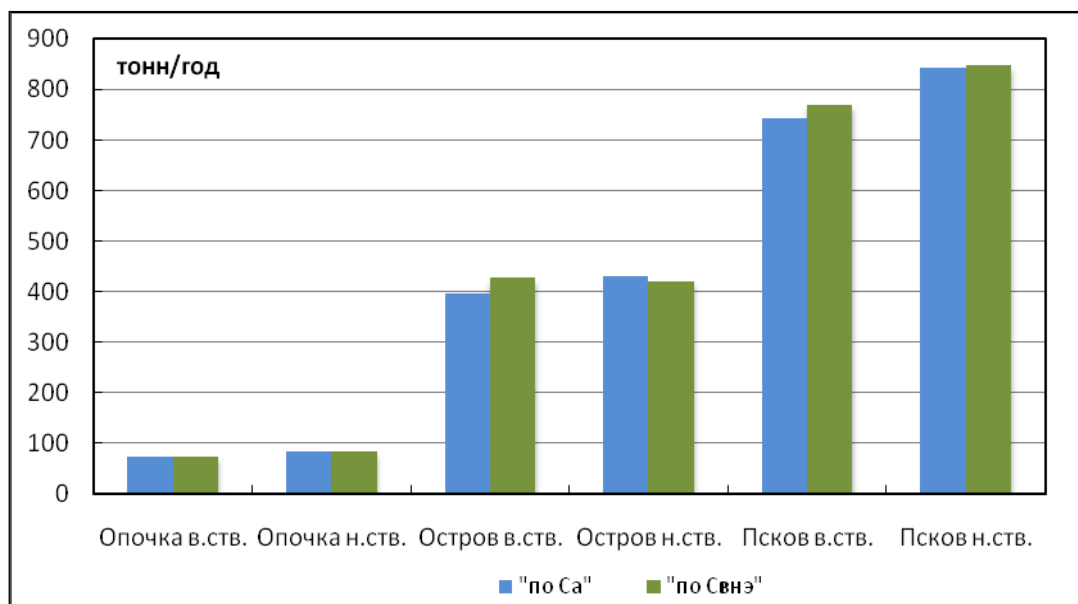


Рисунок 5.11 – Средние многолетние значения объемов стока азота аммонийного по длине реки Великая.

Что касается влияния методики оценки среднегодовой концентрации на результаты анализа, то можно сказать что при осреднении за многолетний период разница в результатах менее существенна, чем в отдельно взятые годы. Мы видим, что иногда значения объема стока равны, либо выше значения полученных при помощи традиционной методики, либо выше значения полученные при оценке по комплексной методике.

Временная динамика изменения объемов стока нитритного азота представлена в качестве примера на рисунке 5.12. Анализ временной динамики проведенный по всем пунктам наблюдений, показал, что изменение значений среднегодовых объемов стока во времени в общих чертах совпадает. До середины 1980-х годов мы видим существенные колебания значений объемов

стока, затем ход линий становится более плавным. При этом можно отметить, что в период с 1990 по 2003 годы видно незначительное увеличение значений, а после 2003 года заметно уменьшение значений объема стока. Это может быть связано с начавшейся модернизацией очистных сооружений города.

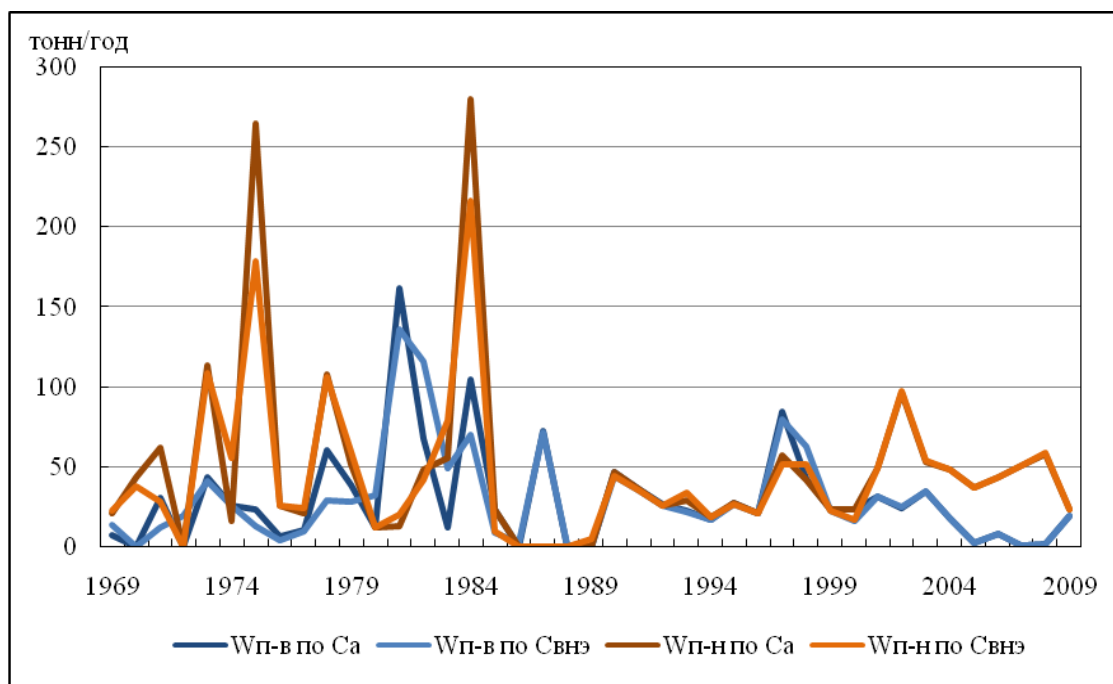


Рисунок 5.12 – Среднегодовые значения объемов стока азота нитритного в пункте Псков на основе оценки среднегодовой концентрации с учетом и без учета особенностей гидрохимической информации.

Пространственное распределение средних многолетних значений объема стока представлено на рисунке 5.13

Можно отметить, что график значений объемов стока полученных на основе среднегодовой концентраций, рассчитанных по комплексной методике, имеет более плавный ход, чем график, полученных на основе общепринятой методики оценки среднегодовой концентрации.

Анализ пространственной динамики показал, что объем стока нитритного азота плавно нарастает от створа к створу вниз по течению реки. При этом нет явного увеличения объемов стока как в черте городов, так и между городами.

Однако видно, что наибольшее увеличение значений все-таки характерно для города Псков.

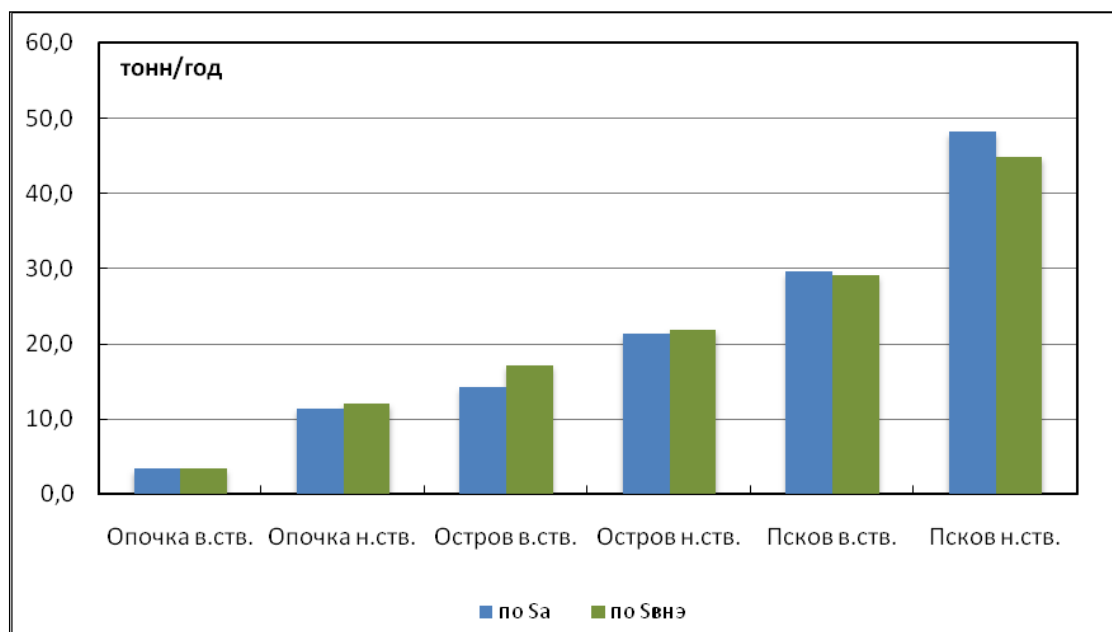


Рисунок 5.13 – Средние многолетние значения объемов стока азота нитритного по длине реки Великая.

Временная динамика изменения объемов стока азота нитратного в пункте Псков представлена на рисунке 5.14.

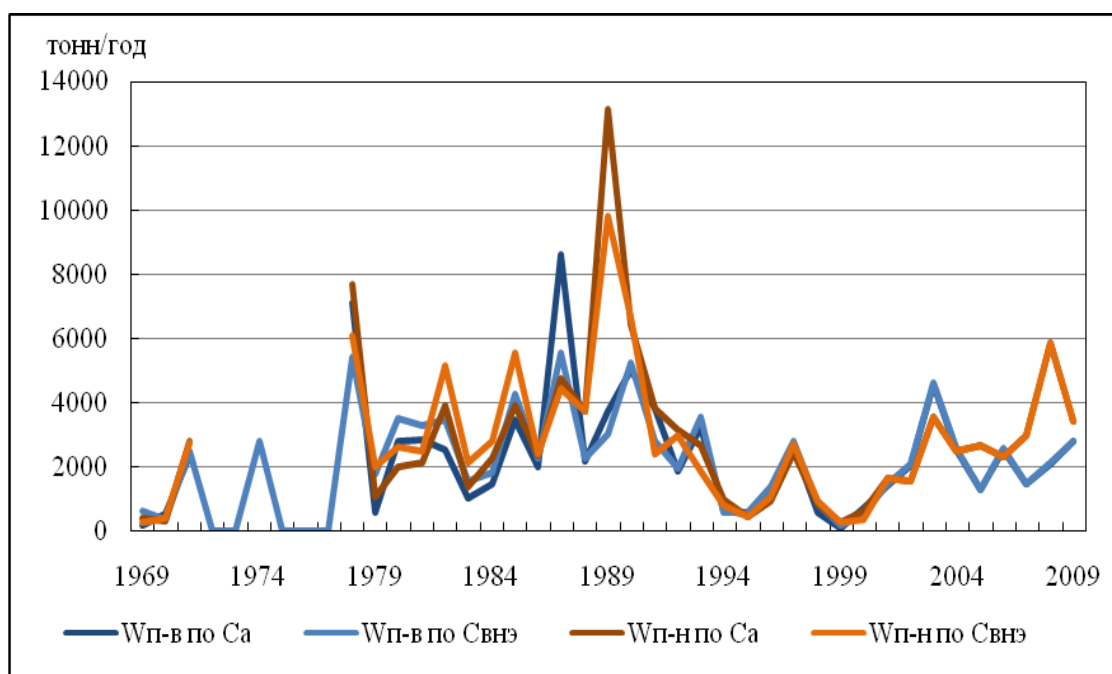


Рисунок 5.14 – Среднегодовые значения объемов стока азота нитратного в пункте Псков на основе оценки среднегодовой концентрации с учетом и без учета особенностей гидрохимической информации.

На рисунке видно, что объем стока нитратного азота увеличивался в период с начала по конец 1980-х, затем до конца 1990-х наблюдается спад значений, а после опять увеличение, правда менее значительное, чем в более ранний период. Методика оценки среднегодовой концентрации и дальнейший расчет на её основе объема стока может существенно сказываться на результате. На рисунке 5.14 видно, что в большинстве случаев увеличения значений объема стока, полученные при применении комплексной методики менее выражены, чем при традиционной оценке, хотя иногда встречаются и обратные случаи.

Анализ пространственной динамики по многолетним значениям объема стока показал, что приращение объемов стока с территорий городов несколько меньше, чем смежгородских территорий (рисунок 5.15). Это позволяет сделать вывод о том, что наибольший вклад в поступление нитратного азота с территории водосбора реки вносит сельское хозяйство и стоки от небольших населенных пунктов вдоль реки, которые, как правило, не имеют очистных сооружений. Методика оценки среднегодовой концентрации также может влиять на результат оценки. Так по средним многолетним данным получается, что в отдельных случаях применение комплексной методики для оценки среднегодовой концентрации приводит к увеличению средних многолетних значений. Иногда мы видим значительное снижение среднего многолетнего объема стока за счет учета особенностей гидрохимической информации.

Как видно из рисунка 5.16 значения объема стока минерального фосфора не имеют общей ярко выраженной тенденции изменения. Кроме того ряд среднегодовых значений объема стока имеет большую амплитуду колебаний.

Значения объемов стока, полученные на основе среднегодовых концентраций, рассчитанных с учетом и без учета особенностей гидрохимической информации, для минерального фосфора сильно разнятся, особенно эти отклонения велики для значений в верхнем створе пункта Остров.

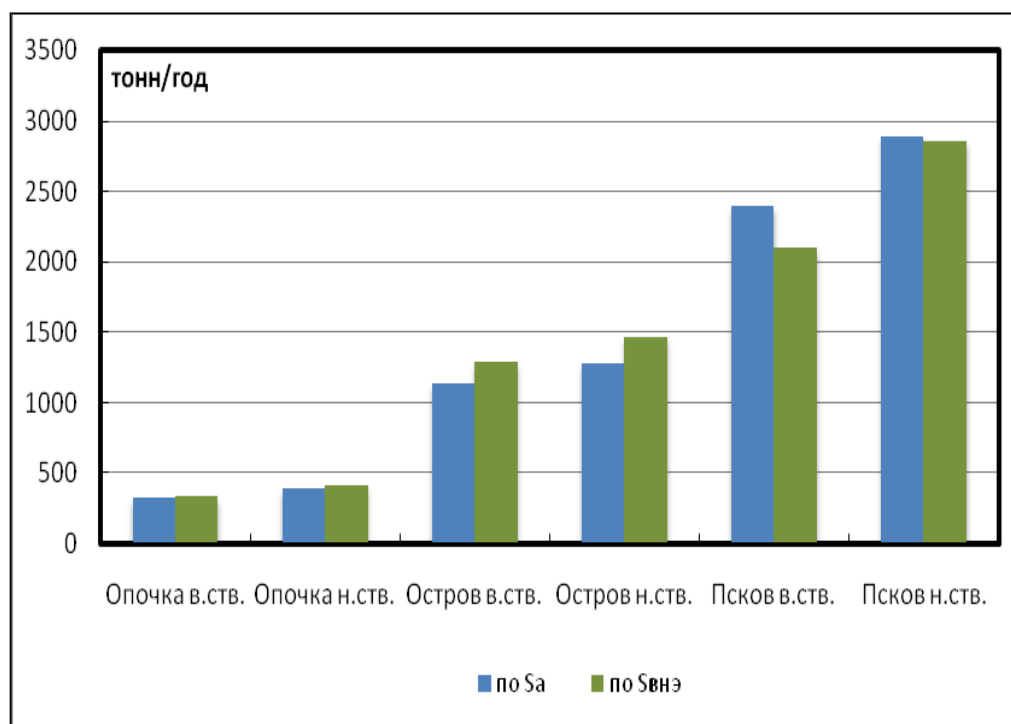


Рисунок 5.15 – Средние многолетние значения объемов стока азота нитратного по длине реки Великая.

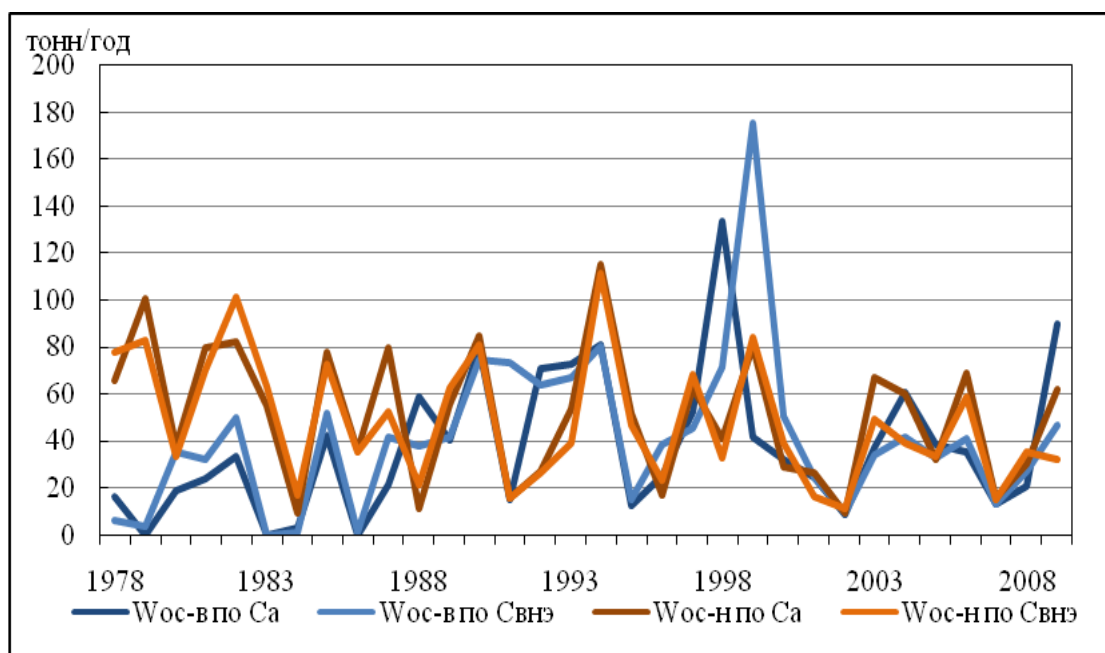


Рисунок 5.16 – Среднегодовые значения объемов стока фосфора минерального в пункте Остров на основе оценки среднегодовой концентрации с учетом и без учета особенностей гидрохимической информации.

На рисунке 5.17 представлены средние многолетние значения объема стока минерального фосфора по длине реки Великая. Видно, что значения

объема стока плавно нарастают вниз по течению реки. То есть, оценить с какой части водосбора поступает наибольшее количество фосфора не представляется возможным. Это позволяет сделать вывод о том, что все источники поступления минерального фосфора в воды реки примерно равнозначны. Однако если оценивать приращения объемов стока по среднегодовым концентрациям, полученным на основе применения комплексной методики, то можно выделить один участок, который вносит наибольший вклад в увеличение объема стока минерального фосфора. Это участок между пунктами Остров и Псков. Такой разрыв в средних многолетних значениях, вероятнее всего, можно объяснить особенностями ряда данных в этом конкретном створе.

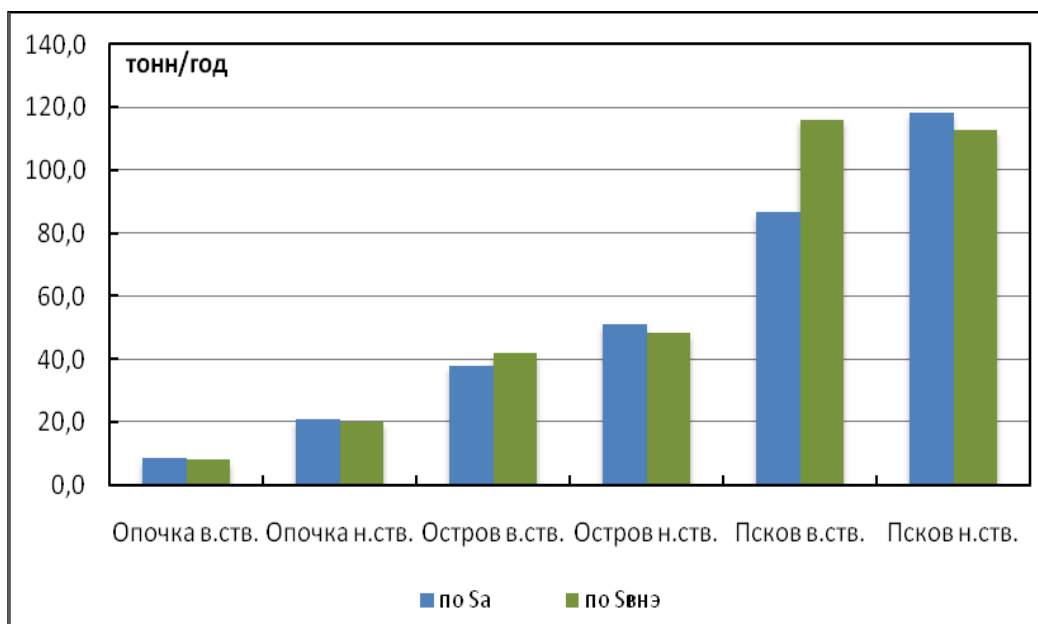


Рисунок 5.17– Средние многолетние значения объемов стока фосфора минерального по длине реки Великая.

Временная динамика изменения среднегодовых значений железа общего представлена на рисунке 5.18, а пространственное распределение средних многолетних значений объема стока на рисунке 5.19.

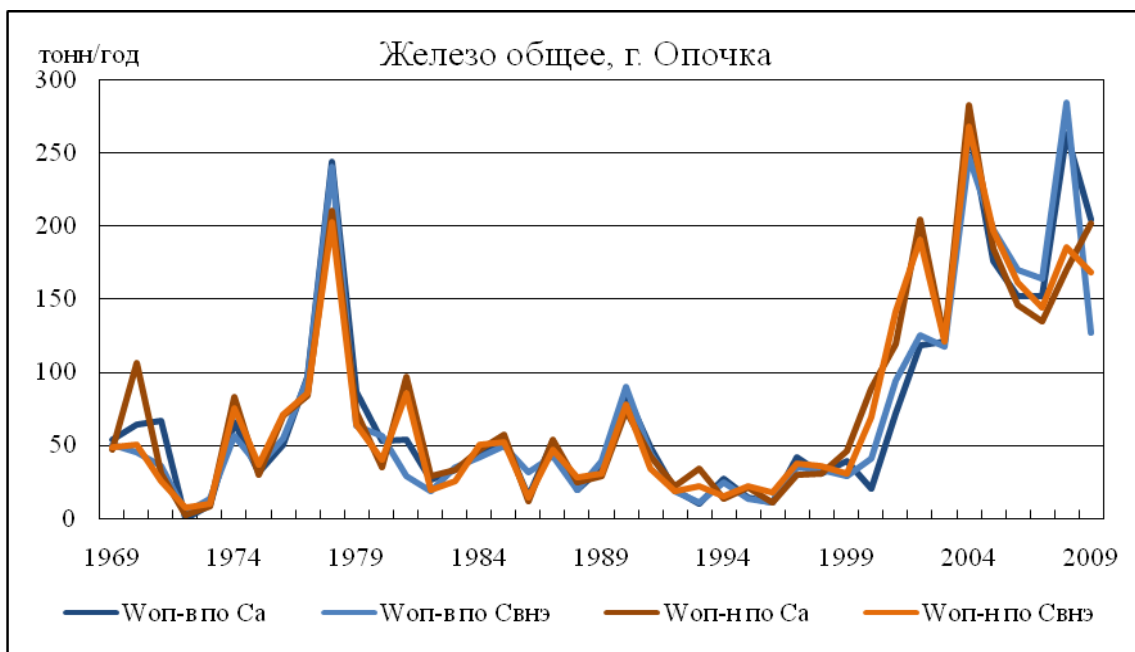


Рисунок 5.18 – Среднегодовые значения объемов стока железа общего в пункте Опочка на основе оценки среднегодовой концентрации с учетом и без учета особенностей гидрохимической информации.

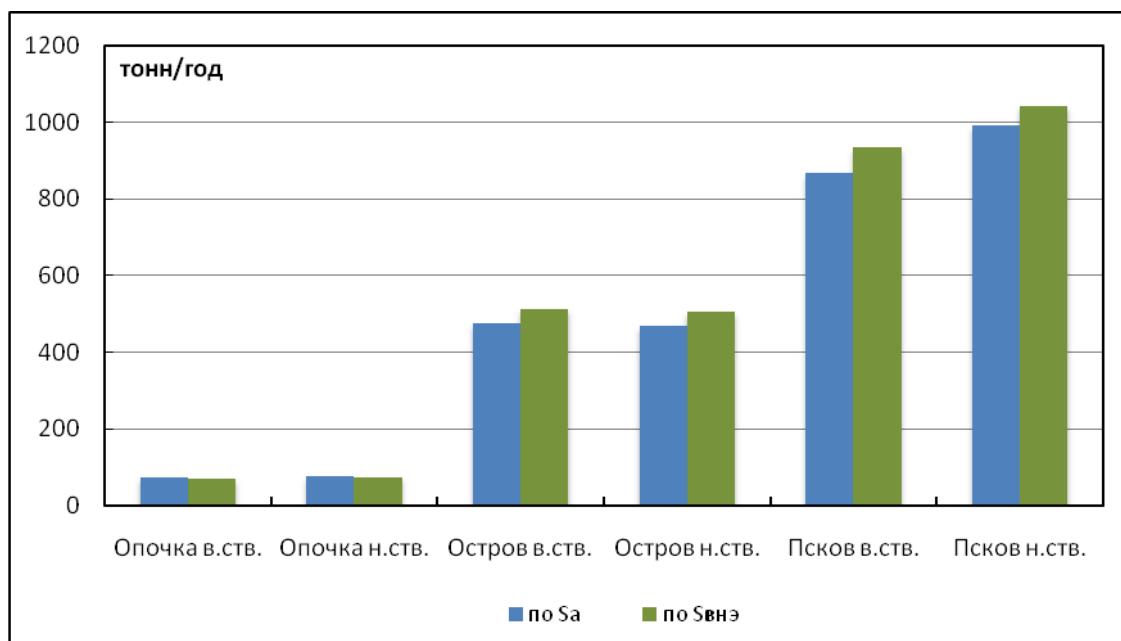


Рисунок 5.19 – Средние многолетние значения объемов стока железа общего по длине реки Великая.

Из рисунка 5.18 видно, что с 2000 года наблюдается резкое увеличение значений объема стока железа общего. При этом динамика изменений

совпадает во всех пунктах наблюдений. Кроме того, ход линий при оценке среднегодовых концентраций различными методами практически идентичен.

Что касается пространственной динамики, то из рисунка 5.19 видно, что наибольший вклад в значения объема стока вносят межгородские территории. При этом в черте города Остров наблюдается даже незначительное снижение значений.

В целом баланс стока биогенных элементов по длине реки Великая с учетом особенностей гидрохимической информации показал, что:

1. Для всех веществ, за исключением фосфора минерального и растворенного кислорода, характерно снижение значений объемов стока в 1990-е годы, а после 2000 года происходит увеличение объема стока. Подобная закономерность может быть связана с экономической ситуацией в стране в целом и в регионе исследования в частности.
2. Наибольший вклад в загрязнение биогенами, за исключением минерального фосфора и нитритного азота, вносит территория между городами. Причем сток с территории между городами Остров и Псков наибольший. Это связано с наибольшей освоенностью территорий и более интенсивным развитием сельского хозяйства здесь. То есть, вероятно, основными источниками поступления биогенов в воды реки Великая являются сельскохозяйственные угодья и малые населенные пункты, как правило, не имеющие канализации и систем очистки сточных вод, расположенные по берегам реки.
3. Выводы по пространственной и временной динамике, полученные по традиционным графикам полностью совпадают с выводами, полученными в результате анализа интегральных кривых. Таким образом методика оценки пространственно-временной динамики концентраций биогенов и объемов стока на основе применения интегральных кривых является достаточно хорошим инструментом и позволяет получить достоверные результаты.

4. Методика оценки среднегодовой концентрации во многих случаях существенно влияет на результаты оценки пространственной и временной динамики, вплоть до получения противоположных результатов.
5. При оценке среднего многолетнего объема стока учет особенностей гидрохимической информации в рамках применения комплексной методики оценки среднегодовой концентрации приводит к незначительному увеличению значений.

Заключение

Диссертация посвящена разработке комплексной методики учета особенностей гидрохимической информации при оценке средних годовых концентраций и объемов годового стока биогенов и, на этой основе, изучению баланса биогенов по длине реки Великая.

В ней представлены результаты исследований по разработке:

- комплексной методики расчета средней годовой концентрации и объемов годового стока биогенов на основе учета особенностей гидрохимической и гидрологической информации.
- методики оценки баланса стока биогенов по длине реки на основе анализа интегральных кривых годовых объемов стока при наличии нескольких пунктов наблюдений.

На основе этих методик проведен анализ и уточнение объема стока биогенов по р. Великой в Псковско-Чудское озеро.

В результате исследований получены следующие **выводы**:

1. Подавляющее большинство гидрохимических рядов наблюдений на реке Великая не соответствуют основным теоретическим положениям, лежащим в основе большинства методов обработки информации. А именно, исходные ряды наблюдений являются неэквидистентными, неоднородными и нестационарными.
2. Неучёт особенностей гидрохимической и гидрологической информации приводит к существенным погрешностям в расчетах средних годовых концентраций и объемов стока загрязняющих веществ.
3. Применение комплексной методики учета особенностей гидрохимической информации позволяет в существенной степени уточнить средние годовые концентрации и объемы стока загрязняющих веществ.
4. Наиболее подходящим законом распределения измеренных значений концентрации является закон распределения Пирсона 3-го типа.

5. Примерно в половине рядов на основе анализа кривых обеспеченности обнаруживаются возможные выбросы. Проверка этих случаев по критерию Диксона подтвердила наличие 1 – 4 выбросов в 30 % исходных рядов.

6. Исключения выбросов из исходных рядов наблюдений приводит в некоторых случаях к значительному снижению оценок числовых характеристик.

7. Основными поставщиками азота в р. Великую являются межгородские территории, хорошо освоенные в сельскохозяйственном отношении; влияние городов, в том числе г. Пскова, менее значительно.

8. Объемы стока рассмотренных форм азота и БПК₅ нарастают по длине реки от створа к створу. Нарастание концентраций выражено меньше вследствие разбавления при увеличении расходов воды.

9. Во многих случаях процессы изменения концентраций рассмотренных форм азота является не стационарным. Учитывая, что влияние городов менее значительно, по-видимому, не стационарность объясняется главным образом развитием сельского хозяйства.

10. Интегральные кривые являются достаточно хорошим показателем состояния химического загрязнения рек и по нашему мнению должны обязательно использоваться при первичном анализе.

Результаты работы сводятся к следующему:

- Разработана комплексная методика расчета средней годовой концентрации и объемов годового стока содержащихся в воде веществ на основе учета особенностей гидрохимической и гидрологической информации;
- Проведен анализ однородности и выявление выбросов в рядах измеренных концентраций биогенов на основе выбранных законов распределения временных рядов измеренных концентраций в р. Великой;

- Уточнение объемов стока биогенов в отдельных пунктах наблюдений на р. Великой при исключении выбросов, с учетом водности в период взятия проб на химический анализ и неэквидистентности рядов наблюдений;
- Разработана методика оценки баланса стока биогенов по длине р. Великой на основе применения интегральных кривых;
- Уточнение объема стока биогенов по р. Великой в Псковско-Чудское озеро на основе названных методик уточнения расчетов и анализа годового стока биогенов.

Список использованных источников

- 1 Алексеев Д.К. Экологический мониторинг: современное состояние, подходы и методы / Д. К. Алексеев, В. В., Гальцова, В. В. Дмитриев - СПб. : РГГМУ, 2011. - 302 с.
- 2 Алёкин О.А. Основы гидрохимии. / О.А. Алёкин.— Л.:Гидрометиздат, 1970. – 444 с.
- 3 Алёкин О.А. Эвтрофирование озер / О.А. Алёкин // Водные ресурсы. – 1979.— № 4. – с. 25-28.
- 4 Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце 20 столетия // отв. ред. Н.И. Коронкевич, И.С. Зайцев. – М.: Наука, 2003. – 367 с.
- 5 Афифи А. Статистический анализ: Подход с использованием ЭВМ. / А. Афифи, С. Эйзен.— М.: Мир, 1982. – 488 с.
- 6 Бахтияров В.А. Водное хозяйство и водохозяйственные расчеты / В.А. Бахтияров. – Л.: Гидрометеиздат, 1961. – 428 с.
- 7 Важнов А.Н. Гидрология рек: Учебник / А.Н. Важнов.— М.:изд.МГУ, 1976. –340 с.
- 8 Владимиров А.М. Охрана окружающей среды: Учебное пособие / А.М. Владимиров, Ю.И. Ляхин, Л.Т. Матвеев. – Л.:Гидрометеиздат, 1991. – 424 с.
- 9 Владимиров А.М. Экологические аспекты использования и охраны водных ресурсов / А.М. Владимиров, В.Г. Орлов, В.М. Сакович.— СПб. : изд. РГГМИ, 1997. – 125 с.
- 10 Водопользование. Государственный комитет Псковской области по Природопользованию и охране окружающей среды, 2014. – Режим доступа: <http://priroda.pskov.ru/water-use>, свободный. – Загл. с экрана.
- 11 Гальцова В.В. Практикум по водной экологии и мониторингу состояния водных систем: Учебное пособие. / В.В. Гальцова, В.В. Дмитриев. – СПб.: типография Наука, 2007. – 364 с.

12 Гидрометрия: Учебное пособие. / В.А. Орлова. – Л.:Гидрометеиздат, 1966.– 459 с.

13 ГОСТ 17.1.3.07–82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоёмов и водотоков – введён 1983-01-01. – М.:ИПК Издательство стандартов, 2001. – 13 с.

14 Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 1980 год / ред. И.В. Кузнецов – т. 1 (Бассейн Балтийского моря). – вып. 0–3.– Л.:Гидрометеиздат, 1982.–850 с.

15 Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации» за 2005-2010 гг. Сайт Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации. – Режим доступа: <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/list.php?part=1101>, свободный. – Загл. с экрана.

16 Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации» за 2007-2009 гг. Сайт Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации. – Режим доступа: <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/list.php?part=1253>, свободный. – Загл. с экрана.

17 Джонсон Н. Статистика в планировании эксперимента в технике и науке / Н. Джонсон, Ф. Лион. – М. : Мир, 1980. – 510 с

18 Дмитриев В.В. Экологическое нормирование и устойчивость природных систем. Учебное пособие/ В.В. Дмитриев, Г.Т. Фрумин. – СПб. : Наука, 2004, – 294 с.

19 Емельянова В.П. Методология и методы комплексной оценки загрязнённости поверхностных вод по гидрохимическим показателям. дисс. канд. геогр. наук (25.00.27 – гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия) / Валентина Петровна Емельянова ; рук. работы ; ГХИ. – Ростов-на-Дону, 2006. – 254 с.

20 Загрязнение природных вод органическими и неорганическими веществами и их влияние на качество воды. / ред. И.А. Гончарова.– Л.:Гидрометеиздат, 1986. – Т.11. –151 с.

21 Иванова М.Б. Общие принципы и критерии оценки экологического состояния пресноводных экосистем / М.Б. Иванова // Критерии экологической безопасности. Материалы научно–практической конференции.– СПб.: Санкт–Петербургский научный центр РАН, 1994. – с. 86–87.

22 Инге-Вечтомов С.Г. Устойчивое развитие и Местная повестка дня на 21 век. Избранные документы и материалы / С.Г. Инге-Вечтомов, Т.М. Флоринская, В.В. Худолей, Г.Л. Егорова. – СПб, 2000.–252 с.

23 Калиткин Н.Н. Численные методы. / Н.Н. Калиткин. – М.: Наука, 1978. – 512 с.

24 Качество поверхностных вод Российской Федерации. Ежегодник. 2002 год. / Гидрохимический институт. – СПб.:Гидрометеиздат, 2004. – 365 с.

25 Качество поверхностных вод Российской Федерации. Ежегодник. 2004 год. / Гидрохимический институт. – М.:Метеоагентство Росгидромета, 2006. – 373 с.

26 Качество поверхностных вод Российской Федерации. Ежегодник. 2008 год. / Гидрохимический институт. – Ростов–на–Дону: «НОК», 2009. – 1044 с.

27 Козырева Е.О. Оценка стационарности процессов загрязнения реки Великой / Е.О. Козырева, В.А. Шелутко // Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон, ЭКОГИДРОМЕТ. Сборник трудов VI Международной конференции. – СПб.: изд. РГГМУ, 2013. – с. 119-123

28 Колесникова Е.В. Развитие теории и методов оценки загрязнения речных вод: дисс. ... канд. геогр. наук (25.00.36 – Геоэкология) / Евгения Владимировна Колесникова; рук.работы; РГГМУ. – СПб, 2008. – 188 с.

29 Колесникова Е.В. Развитие теории и методов оценки загрязнения речных вод: автореферат дисс. канд. геогр. наук (25.00.36 – геоэкология) / Е.В. Колесникова.–СПб.: 2008. – 25 с.

30 Кондратьев С.А. Диффузная биогенная нагрузка на Чудско-Псковское озеро с российской водосборной территории в современных условиях. / С.А. Кондратьев, М.М. Мельник, М.В. Шмакова, В.И. Уличев // Научно-

теоретический журнал. Общество. Среда. Развитие. № 3(32)-2014 – СПб.: ЦНИТ «Астерион», 2014. – с. 163-169.

31 Контроль качества поверхностных вод: Учебное пособие / В.Г. Орлов [и др.]. – Л., изд. ЛПИ, 1988. – 140 с.

32 Линслей Р.К. Прикладная гидрология / Р.К. Линслей, М.А. Колер, Д.Л. Паулюс. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 239 с.

33 Максимова М.П. Критерии антропогенного эвтрофирования речного стока и расчет антропогенной составляющей биогенного стока рек. / М.П. Максимова // Водные ресурсы. – 1979. – № 1. – с. 62-67.

34 Молчанова Я.П. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды. / Я.П. Молчанова, Е.А. Заика, Э.И. Бабкина, В.А. Сурнин. – М.: Инфра-М, 2007. – 192 с.

35 Науменко М.А. Эвтрофирование озер и водохранилищ. / М.А. Науменко. – СПб.: изд. РГГМУ, 2007. – 108 с.

36 Никаноров А.М. Гидрохимия: Учебное пособие. / А.М. Никаноров. – СПб.: Гидрометеиздат, 2001. – 447 с.

37 Опочецкий и Красногородский районы. Государственный комитет Псковской области по природопользованию и охране окружающей среды, 2014. – Режим доступа: <http://priroda.pskov.ru/vodopolzovanie/opochetsky-krasnogorodsky-raionu>, свободный. – Загл. с экрана.

38 Осипов Г.К. Комплексная оценка и управление потоками биогенных веществ в природно-аграрных системах (в связи с антропогенным эвтрофированием): дисс. ... д-ра геогр. наук. / Г.К. Осипов. – СПб, 1994. – 481 с.

39 Остров. Официальный сайт, 2014 – Режим доступа: <http://ostrovcity.narod.ru/economik.html>, свободный. – Загл. с экрана.

40 Островский район. Государственный комитет Псковской области по природопользованию и охране окружающей среды, 2014. – Режим доступа: <http://priroda.pskov.ru/vodopolzovanie/ostrovsky-raion>, свободный. – Загл. с экрана.

41 Отчеты главного государственного управления сельского хозяйства, ветеринарии и государственного технического надзора Псковской области за

2010-2011 гг. – Режим доступа: <http://cx.pskov.ru/otchety>, вободный. – Загл. с экрана.

42 Официальный сайт Опочецкого района, 2014 – Режим доступа: <http://opochka.reg60.ru>, свободный. - Загл. с экрана.

43 Официальный сайт Островского района, 2014 – Режим доступа: <http://ostrov.reg60.ru>, свободный. - Загл. с экрана.

44 Официальный сайт правительства Псковской области, 2014. – Режим доступа: <http://www.pskov.ru/region/resursy/ekologiya>, свободный. – Загл. с экрана.

45 Пряхина Г.В., Вуглинский В.С. Гидрологическая изученность и особенности формирования речного стока в верхней части бассейна реки Катунь. // Географические и экологические аспекты гидрологии. – СПб.: изд. СПбГУ, 2010. с.

46 Псков. География. География хозяйства, 2014 – Режим доступа: <http://www.pskov.ellink.ru/geo/household/index.html>, свободный. - Загл. с экрана.

47 Псковский район. Государственный комитет Псковской области по природопользованию и охране окружающей среды, 2014. – Режим доступа: <http://priroda.pskov.ru/vodopolzovanie/pskovsky-raion>, свободный. – Загл. с экрана.

48 Пустыльник Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений / Е.И. Пустыльник. – М.: Наука, 1968. – 185 с.

49 РД 52.24.309–92. Организация и проведение режимных наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши на сети Роскомгидромета. – введ. 1992-01-01– СПб.:Гидрометеиздат. – 56 с.

50 РД 52.24.309–2004. Организация и проведение режимных наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши на сети Роскомгидромета. – введ. 2006-01-01. – М.:Метеоагентство Росгидромета, 2005. – 67 с.

51 РД 52.24.643–2002. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям: Методические указания. – введ. 2004-01-01 – СПб.:Гидрометеиздат, 2003.–35 с.

52 РД 52.24.622-2001. Методические указания. Проведение расчетов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков. – введ. 2002-01-01. – Режим доступа:

http://www.consultant.ru/document/cons_doc_EXP_440863/?dst=100025, свободный. – Загл. с экрана.

53 Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / ред. А.Д. Семенов. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 541 с.

54 Сабинин Н.В. Анализ законов распределения концентраций биогенов и показателей содержания органического вещества в речном стоке / Н.В. Сабинин, В.А. Шелутко // Сборник тезисов городской студенческой конференции «Спасём дыхание планеты». – СПб.: изд. РГГМУ, 2007. – с. 87-90

55 Скакальский Б.Г. Биогенная нагрузка на Чудско-Псковское озеро с территории России. / Б.Г. Скакальский // Материалы итоговой сессии Учёного совета РГГМУ. Информационные материалы. – СПб.: изд. РГГМУ, 2002. – с. 213-216.

56 Скакальский Б.Г. Оценка качества речных вод. / Б.Г. Скакальский // Методы расчёта речного стока: Международные высшие гидрологические курсы ЮНЕСКО при МГУ. – М., 1980. – 11 сессия. – с. 98-112

57 Смыжова Е.С. Анализ динамики загрязнения реки Великая биогенными веществами с учётом неэквидистентности исходной информации / Е.С. Смыжова, В.А. Шелутко // Материалы конференции «Современные экологические проблемы и их решение: взгляд молодёжи». – СПб.: изд. ПИЯФ РАН, 2008. – с. 87-95

58 Смыжова Е.С. Оценка стока биогенных веществ с учетом особенностей гидрохимической информации (на примере реки Великой): дисс. ... канд. геогр. наук (25.00.36 – Геоэкология) / Елена Сергеевна Смыжова; рук. работы; РГГМУ. – СПб, 2010. – 153 с.

59 Смыжова Е.С. Оценка стока биогенных веществ с учетом особенностей гидрохимической информации (на примере реки Великой): автореферат дисс. канд. геогр. наук (25.00.36 – Геоэкология) / Е.С. Смыжова. – СПб.: 2010. – 27 с.

60 Смыжова Е.С. Учёт влияния неэквидистентности исходной информации на оценку биогенного загрязнения рек на примере реки Великая / Е.С. Смыжова, В.А. Шелутко // Материалы международной научно-практической конференции «Географическое образование и наука в России: история и современное состояние». – СПб.: ВВМ, 2010. – с. 862-871

61 Современные проблемы гидрометеорологии / ред. А.М. Догоновский. СПб.: Астерион, 2006. – 282 с.

62 Список предприятий-водопользователей Псковской области. Государственный комитет Псковской области по Природопользованию и охране окружающей среды, 2014. – Режим доступа: <http://priroda.pskov.ru/predpriyatiya-vodopolzovateli>, свободный. – Загл. с экрана.

63 Торопова Н.М. Комплексная оценка загрязнения стока р. Невы и ее притоков биогенными веществами: автореф. дисс. канд. геогр. н. (25.00.36 – геоэкология) / Наталья Михайловна Торопова; рук. Работы. – СПб., 2003. – 28 с.

64 Урусова Е.С. Оценка экстремальных уровней загрязнения речных вод. / Е.С. Урусова, В.А. Шелутко, Е.А. Ващенко // Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон, ЭКОГИДРОМЕТ. Материалы VI международной конференции. – СПб.: изд. РГГМУ, 2012. - с. 157-158

65 Урусова Е.С. Теоретические основы и методика оценки экстремального уровня загрязнения речных вод / Е.С. Урусова, В.А. Шелутко // Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон, ЭКОГИДРОМЕТ. Сборник трудов VI Международной конференции. – СПб.: изд. РГГМУ, 2013. – с. 113-118.

66 Фащевский Б.В. Основы экологической гидрологии. / Б.В. Фащевский. – Минск.: «Экоинвест», 1996. – 240 с.

67 Фелленберг Г. Загрязнение природной среды. Введение в экологическую химию / Г. Фелленберг ; пер. с нем. – М.: Мир, 1997. – 232 с.

68 Фрумин Г.Т. Поступление биогенных элементов в Балтийское море со стоком трансграничных рек. / Г.Т. Фрумин, А.В. Германова // Ученые записки

Российского государственного гидрометеорологического университета. № 24 – СПб.: изд. РГГМУ, 2012. – с. 100-106

69 Фрумин Г.Т. Оценка состояния водных объектов и экологическое нормирование / Г.Т. Фрумин. – СПб.: изд. РГГМУ, 1998.–96 с.

70 Фрумин Г.Т. Экологическая химия и экологическая токсикология. / Г.Т. Фрумин.– СПб.: Гидрометеиздат, 2002.– 294 с.

71 Хрисанов П.И. Управление эвтрофированием водоемов. / П.И. Хрисанов, Г.К. Осипов. – СПб.:Гидрометеиздат, 1993.–278 с.

72 Шелутко В.А. Геоэкологические проблемы, мониторинг и оценка качества среды больших городов и промышленных зон. / В.А. Шелутко, В.В. Дмитриев // Геоэкологический мониторинг: теория и практика. Сборник научных статей по материалам научно-практической конференции.– СПб.: АССПИН., 2003. – с. 31-48.

73 Шелутко В.А. Динамика стока биогенных веществ по реке Великая в Псковско–Чудское озеро / В.А. Шелутко, Е.С. Смыжова // Учёные записки РГГМУ. – СПб.: изд. РГГМУ, 2010.–№13. –с. 89-104.

74 Шелутко В.А. Оценка экстремальных уровней загрязнения речной сети урбанизированных территорий / В.А. Шелутко // Вопросы прикладной экологии. Сборник научных трудов.– СПб: изд. РГГМУ, 2002.– с. 15-23.

75 Шелутко В.А. Проблемы оценки антропогенной нагрузки на поверхностные воды по данным гидрохимических наблюдений / В.А. Шелутко, Е.В. Колесникова, Е.С. Смыжова // Географические и экологические аспекты гидрологии. Труды научной сессии, посвящённой 90-летию кафедры гидрологии суши факультета географии и геоэкологии СПбГУ. – СПб.: ВВМ, 2010. – с. 321–332.

76 Шелутко В.А. Теория и практика оценки качества поверхностных вод по гидрохимическим данным / В.А. Шелутко, Е.С. Смыжова, Е.В. Колесникова // Экология и гидрометеорология больших городов и промышленных зон. (Россия – Мексика). – СПб.: изд. РГГМУ, 2010. – Т. 2:Мониторинг окружающей среды.–с. 84–105

- 77 Шелутко В.А. Численные методы в гидрологии: Учебное пособие. / В.А. Шелутко.–Л.:Гидрометеиздат, 1991.–240 с.
- 78 Шикломанов И.А. Влияние хозяйственной деятельности на речной сток / И.А. Шикломанов. – Л.:Гидрометеиздат, 1989. – 330 с.
- 79 Экология и гидрометеорология больших городов и промышленных зон: (Россия-Мексика). Т. 1 : Анализ окружающей среды / под.ред. В. А. Шелутко и др. - Санкт-Петербург : РГГМУ.- 2009. - 179 с.
- 80 Экологический мониторинг дельты реки Великой / ред. О.А. Лебедева. – Псков: ПГПИ, 2003.–Ч.1. – 2003. – 124 с.
- 81 Экологический мониторинг дельты реки Великой / ред. О.А. Лебедева.– Псков: ПГПИ, 2004.– Ч.2. – 2004. – 119 с.
- 82 Environmental Science / editor Lars Ryden. – Uppsala.: The Baltic University Press, 2003. – 824 p.
- 83 Lehtoranta J. Sediment accumulation of nutrients (N, P) in the eastern Gulf of Finland (Baltic Sea) / Lehtoranta J., Pitkanen H. and Sandman O. // Water, Air, and Soil Pollution 99, 1997. – pp. 477-486.
- 84 Munn R.E. Environmental Impact Assessment In Developing Countries: Principles And Procedures. –Toronto: Institute For Environmental Studies, 1979. – 112 p.
- 85 Pauli Haimi. Nitrogen and Phosphorus fluxes in the river Neva. / Pauli Haimi, R–S Wirkkala, K.Eloheimo.–Finnish Environment Institute. Final report, 1997. – 31 p.
- 86 Pierls B.L. Human influence on river nitrogen. / Pierls B.L., Caraco N.F., Pace M.L. and Cole J.J. – Nature 350, 1991. – pp. 386-387.
- 87 Treweek Joanna. Ecological impact assessment / J. Treweek. – Blackwell science, 1999. – 310 p.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
Карта региона исследования



Рисунок А.1 – Карта региона исследования

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
Оценка среднегодовой концентрации с учетом и без учета особенностей гидрохимической информации

Таблица Б.1 - Расчет среднегодовой концентрации растворенного кислорода с учетом и без учета особенностей гидрохимической информации

Год наблюдений	Опочка, верхний створ			Опочка, нижний створ			Остров, верхний створ		
	Ca, мг/л	Свнз, мг/л	Δ, %	Ca, мг/л	Свнз, мг/л	Δ, %	Ca, мг/л	Свнз, мг/л	Δ, %
1969	10,23	10,83	5,48	9,85	10,56	6,68	10,41	10,59	1,73
1970	8,54	9,53	10,45	8,37	9,57	12,64	8,01	9,41	14,92
1971	9,49	9,23	-2,72	10,31	9,43	-9,31	10,64	10,24	-3,90
1972	9,33	9,71	3,90	9,13	9,43	3,22	10,35	13,79	24,92
1973	9,76	10,23	4,57	9,38	9,75	3,77	11,23	25,48	55,92
1974	10,42	9,64	-8,18	9,92	9,39	-5,65	10,98	11,08	0,92
1975	7,98	7,59	-5,13	6,73	6,73	0,05	10,88	10,88	0,01
1976	9,05	10,13	10,64	7,32	7,78	5,82	11,07	11,23	1,42
1977	9,53	9,49	-0,42	8,27	8,27	-0,01	10,18	7,51	-35,65
1978	11,43	11,34	-0,78	10,91	10,72	-1,75	11,44	10,50	-8,94
1979	10,78	11,33	4,92	10,47	10,90	4,00	9,49	9,77	2,92
1980	11,75	11,31	-3,87	11,46	11,27	-1,73	10,81	10,77	-0,34
1981	9,68	7,64	-26,73	9,06	9,27	2,27	10,76	10,68	-0,79
1982	10,52	10,27	-2,48	10,02	9,96	-0,62	9,75	9,92	1,76
1983	10,34	11,25	8,07	9,72	10,46	7,02	10,73	10,60	-1,24
1984	11,64	11,63	-0,10	10,88	10,82	-0,55	9,62	9,66	0,42
1985	12,80	12,83	0,26	12,45	12,45	0,01	9,74	9,80	0,61
1986	11,35	11,54	1,66	10,79	10,87	0,78	8,41	8,54	1,54
1987	10,18	10,47	2,85	9,74	10,03	2,97	8,31	8,24	-0,86
1988	11,00	11,11	1,00	10,35	10,49	1,35	8,73	9,25	5,69
1989	10,58	10,37	-1,95	9,95	9,86	-0,94	9,05	8,89	-1,77
1990	10,78	10,86	0,82	10,38	10,39	0,18	9,78	9,74	-0,34
1991	11,05	11,43	3,30	10,55	10,86	2,82	9,85	10,56	6,71
1992	10,73	10,66	-0,62	10,03	9,98	-0,49	10,63	10,97	3,12
1993	10,40	10,68	2,64	9,98	10,29	3,05	10,20	10,21	0,08
1994	10,50	10,30	-1,98	10,10	9,98	-1,22	10,63	10,84	1,95
1995	11,07	11,89	6,89	10,27	11,21	8,38	10,38	10,18	-1,93
1996	11,23	12,48	9,99	9,93	10,90	8,85	9,75	10,14	3,85
1997	12,60	11,95	-5,43	12,30	11,43	-7,65	9,70	10,03	3,30
1998	9,15	9,12	-0,33	9,20	9,20	-0,05	9,05	8,67	-4,41
1999	8,90	10,13	12,16	8,93	9,76	8,59	8,88	9,22	3,66
2000	9,68	9,32	-3,85	9,30	9,10	-2,21	9,27	12,30	24,64
2001	10,38	10,35	-0,23	9,95	10,13	1,80	9,30	9,65	3,66
2002	10,10	10,67	5,36	10,93	11,17	2,17	10,08	10,51	4,13
2003	10,38	10,45	0,72	10,55	10,95	3,66	10,30	10,25	-0,48
2004	8,75	8,76	0,07	9,08	10,18	10,83	10,17	10,55	3,69
2005	9,26	9,32	0,62	9,25	8,59	-7,59	9,57	9,85	2,90
2006	9,30	9,57	2,77	8,93	8,85	-0,90	10,13	9,91	-2,16
2007	9,03	9,29	2,87	10,10	9,26	-9,07	9,23	9,51	2,96
2008	8,43	8,47	0,55	8,41	8,48	0,81	8,37	8,38	0,17
2009	8,08	5,55	-45,56	8,02	6,69	-19,80	7,63	6,24	-22,27
среднее многолетнее	10,15	10,21	-0,19	9,79	9,89	0,79	9,84	10,35	2,26

Таблица Б.1 (продолжение)

Год наблюдений	Остров, нижний створ			Псков, верхний створ			Псков, нижний створ		
	Са, мг/л	Свнэ, мг/л	Δ, %	Са, мг/л	Свнэ, мг/л	Δ, %	Са, мг/л	Свнэ, мг/л	Δ, %
1969	10,39	10,45	0,62	9,73	19,16	49,24	8,45	7,94	-6,39
1970	8,85	9,94	11,02	7,41	8,97	17,40	9,03	9,96	9,33
1971	11,25	10,24	-9,85	10,81	10,67	-1,32	10,99	10,31	-6,55
1972	10,40	10,69	2,73	11,82	11,29	-4,65	9,96	9,63	-3,42
1973	10,88	11,52	5,55	10,33	10,68	3,30	9,69	9,91	2,24
1974	10,57	10,72	1,34	10,19	9,80	-3,96	10,69	10,73	0,39
1975	10,78	10,82	0,36	11,19	10,79	-3,71	10,89	10,62	-2,45
1976	11,03	11,16	1,19	10,55	10,91	3,29	10,30	10,58	2,64
1977	9,84	10,30	4,46	10,52	10,75	2,14	10,04	10,21	1,70
1978	10,33	10,31	-0,16	11,22	73,06	84,64	10,79	11,17	3,47
1979	11,23	10,67	-5,27	9,21	10,02	8,06	9,03	9,69	6,84
1980	10,40	10,52	1,16	10,93	10,93	-0,03	10,73	10,99	2,36
1981	10,74	10,60	-1,28	10,21	10,14	-0,67	10,29	10,34	0,46
1982	9,53	10,06	5,22	8,95	9,43	5,06	8,92	9,65	7,58
1983	10,01	10,02	0,18	9,43	9,39	-0,42	8,77	8,36	-4,98
1984	9,21	9,20	-0,13	10,10	9,78	-3,26	9,06	8,98	-0,85
1985	9,36	9,66	3,12	9,60	9,33	-2,89	8,73	9,19	5,02
1986	8,22	8,32	1,12	8,80	8,65	-1,75	8,80	8,46	-3,92
1987	7,88	7,88	-0,01	8,69	9,06	4,14	8,08	8,66	6,68
1988	8,90	9,31	4,37	9,26	9,28	0,27	9,18	9,15	-0,27
1989	10,03	9,74	-2,92	9,04	8,93	-1,29	9,01	8,71	-3,53
1990	9,90	9,84	-0,60	9,96	9,90	-0,55	10,41	10,23	-1,73
1991	10,35	10,34	-0,10	10,17	9,87	-3,04	9,62	9,61	-0,07
1992	10,40	10,58	1,68	10,98	10,83	-1,33	10,67	10,55	-1,09
1993	10,10	9,93	-1,72	10,09	10,07	-0,18	9,89	9,81	-0,87
1994	10,33	11,07	6,74	9,58	9,47	-1,18	9,18	9,08	-1,19
1995	10,75	10,51	-2,27	9,90	9,81	-0,89	9,95	9,87	-0,79
1996	9,75	10,20	4,45	9,32	9,27	-0,53	9,40	9,33	-0,72
1997	10,00	10,34	3,29	9,58	9,64	0,56	9,67	9,66	-0,04
1998	8,88	8,58	-3,45	9,54	9,47	-0,71	9,41	9,41	0,03
1999	8,68	8,84	1,78	9,79	10,05	2,62	9,92	10,13	2,03
2000	9,84	8,71	-13,03	10,80	8,50	-27,11	10,81	8,80	-22,88
2001	9,30	9,57	2,82						
2002	10,68	11,24	5,04						
2003	10,78	10,58	-1,88						
2004	10,43	10,88	4,15						
2005	9,84	10,20	3,56						
2006	10,32	10,07	-2,39						
2007	8,41	8,51	1,22						
2008	8,21	8,40	2,20						
2009	7,73	6,32	-22,21						
среднее многолетнее	9,86	9,92	0,29	9,93	12,12	3,79	9,70	9,68	-0,34

Таблица Б.2 - Расчет среднегодовых значений БПК₅ с учетом и без учета особенностей гидрохимической информации

Год наблюдений	Опочка, верхний створ			Опочка, нижний створ			Остров, верхний створ		
	Ca, мг/л	C _{внз} , мг/л	Δ, %	Ca, мг/л	C _{внз} , мг/л	Δ, %	Ca, мг/л	C _{внз} , мг/л	Δ, %
1969	1,24	1,68	26,01	1,87	2,14	12,42	1,34	1,66	19,42
1970	0,85	0,68	-24,49	1,92	1,81	-5,64	0,94	0,93	-0,80
1971									
1972									
1973									
1974	1,17	0,69	-69,80	1,22	0,91	-33,99	2,09	2,35	11,21
1975	0,84	0,79	-6,17	0,75	0,79	5,40	1,84	1,94	5,04
1976	2,03	1,75	-16,14	2,38	2,27	-4,83	1,36	1,28	-6,39
1977	2,11	1,81	-16,76	2,29	2,03	-12,60	1,38	1,34	-3,09
1978	1,88	1,67	-12,28	2,06	1,89	-8,84	1,01	0,78	-29,16
1979	2,69	2,57	-4,40	2,93	2,89	-1,29	1,02	1,03	0,57
1980	2,88	2,87	-0,44	3,01	2,26	-32,98	1,54	1,25	-22,69
1981	1,91	2,09	8,27	1,85	2,69	31,11	1,59	1,70	6,82
1982	2,15	2,36	8,89	2,77	3,98	30,40	2,17	2,13	-1,84
1983	2,26	2,73	17,00	2,79	9,39	70,26	1,39	1,36	-1,92
1984	1,31	1,23	-7,08	1,91	2,22	14,15	1,34	1,39	3,50
1985	1,32	1,29	-2,40	1,99	2,60	23,73	1,36	1,42	3,78
1986	1,45	1,47	1,39	2,08	3,50	40,51	2,46	2,34	-5,18
1987	1,56	1,62	3,36	2,05	3,50	40,51	1,62	1,59	-1,63
1988	1,93	1,96	1,98	2,37	2,35	12,59	1,50	1,53	1,84
1989	2,45	2,25	-8,84	3,80	3,02	21,56	2,03	2,24	9,70
1990	2,80	2,78	-0,78	3,88	3,29	-15,59	1,09	1,12	2,70
1991	2,90	2,67	-8,62	3,70	3,70	0,00	1,35	1,32	-2,10
1992	2,03	2,06	1,86	3,28	4,09	24,18	2,25	1,77	-27,34
1993	1,81	1,77	-2,33	3,53	4,65	24,18	2,28	2,14	-6,33
1994	1,82	1,42	-27,58	1,73	2,19	21,02	1,38	1,07	-28,49
1995	1,42	1,70	16,32	2,44	4,91	50,31	1,03	1,11	7,82
1996	1,60	1,85	13,53	1,33	1,75	23,61	1,53	1,49	-2,23
1997	2,00	1,45	-38,10	3,70	3,01	-23,04	2,15	2,24	3,80
1998	0,75	1,25	40,17	0,50	3,01	54,13	2,30	2,03	-13,42
1999	1,25	1,41	11,15	1,18	4,65	74,74	1,23	1,25	2,12
2000	0,93	1,18	21,48	1,30	1,67	22,35	1,68	1,57	-6,93
2001	1,88	1,82	-3,02	1,43	2,25	36,72	1,13	1,55	26,70
2002	1,15	1,22	5,78	1,15	2,80	58,98	1,70	1,36	-24,87
2003	1,85	1,82	-1,76	1,83	1,72	-6,04	1,98	1,53	-11,01
2004	1,49	1,53	2,75	1,37	1,59	13,47	1,70	1,87	5,59
2005	1,45	1,41	-3,04	1,03	1,87	44,66	1,38	1,74	8,25
2006	1,48	1,75	15,82	1,48	1,75	15,51	1,91	1,97	2,99
2007	1,26	1,36	7,41	2,03	2,25	9,60	1,37	1,30	-5,74
2008	1,27	1,29	1,75	1,45	1,66	12,53	1,23	1,40	11,91
2009	1,68	1,77	5,05	1,72	1,57	-9,47	1,58	1,49	-6,03
среднее многолетнее	1,71	1,71	-1,16	2,11	2,73	15,89	1,58	1,57	-2,04

Таблица Б.2 (продолжение)

Год наблюдений	Остров, нижний створ			Псков, верхний створ			Псков, нижний створ		
	Са, мг/л	Свнэ, мг/л	Δ, %	Са, мг/л	Свнэ, мг/л	Δ, %	Са, мг/л	Свнэ, мг/л	Δ, %
1969	1,49	1,74	14,51	0,84	1,01	17,45	1,94	1,29	-1,94
1970	0,90	1,00	10,52	1,25	1,05	-18,72	2,48	2,84	-2,48
1971									
1972									
1973	2,74	3,03	9,50	2,26	2,66	14,79	8,80	6,63	-8,80
1974	2,41	2,43	0,54	3,21	3,11	-3,22	5,02	4,07	-5,02
1975	1,82	1,68	-8,17	2,16	2,18	0,76	2,89	2,49	-2,89
1976	2,15	2,48	13,48	1,09	1,12	2,78	3,23	2,81	-3,23
1977	1,30	1,50	13,39	0,90	0,99	9,51	3,09	2,71	-3,09
1978	3,62	3,21	-12,94	1,87	1,71	-9,57	2,07	2,48	-2,07
1979	1,60	1,69	5,38	2,11	1,96	-7,64	2,33	2,05	-2,33
1980	1,77	1,94	8,90	1,85	1,88	1,53	2,74	2,42	-2,74
1981	2,22	2,44	9,12	1,57	1,70	4,90	2,08	1,97	-2,08
1982	2,37	2,18	-8,68	1,48	1,59	6,82	1,96	2,04	-1,96
1983	1,79	1,97	9,23	2,46	2,30	-7,07	1,67	1,54	-1,67
1984	1,92	1,90	-0,75	1,68	1,64	-2,39	1,93	1,82	-1,93
1985	2,17	1,82	-19,05	2,37	2,33	-1,64	1,56	1,65	-1,56
1986	1,95	1,82	-7,42	1,97	2,00	1,68	2,34	2,12	-2,34
1987	1,16	1,36	14,46	2,34	2,81	16,82	1,64	1,56	-1,64
1988	3,73	3,10	-20,31	2,21	2,30	3,94	1,80	2,33	-1,80
1989	2,39	2,10	-14,00	2,63	2,15	-22,55	2,32	2,28	-2,32
1990	1,60	1,50	-6,84	1,62	1,57	-2,75	2,96	2,54	-2,96
1991	1,75	1,33	-31,84	1,75	1,54	-13,52	1,93	1,80	-1,93
1992	2,15	2,13	-1,05	2,15	2,08	-2,91	1,83	1,61	-1,83
1993	2,20	1,67	-32,13	1,56	1,46	-6,56	2,69	2,63	-2,69
1994	1,38	1,34	-2,50	2,13	2,08	-2,20	1,65	1,57	-1,65
1995	1,43	1,41	-1,13	2,20	2,14	-2,61	2,21	2,09	-2,21
1996	2,00	2,15	7,17	2,09	2,13	1,73	2,07	2,03	-2,07
1997	2,17	1,98	-9,28	1,58	1,71	7,54	1,94	1,84	-1,94
1998	1,33	1,39	4,51	1,72	1,71	-0,51	1,64	1,53	-1,64
1999	1,62	1,37	-18,04	2,26	1,66	-3,14	1,51	1,46	-1,51
2000	1,27	1,26	-0,84	1,55	2,08	8,65	2,38	2,15	-2,38
2001	1,50	1,29	-16,63		1,46	-6,20	1,54	1,27	-1,54
2002	1,25	1,25	0,25						
2003	1,85	1,60	-15,34						
2004	1,74	1,74	0,10						
2005	2,36	2,62	10,00						
2006	2,06	2,48	16,88						
2007	1,47	1,49	1,41						
2008	1,16	1,43	18,74						
2009	1,42	1,41	-0,65						
среднее многолетнее	1,88	1,85	-1,53	1,93	1,91	-1,04	2,46	2,25	-2,46

Таблица Б.3 - Расчет среднегодового значения ХПК с учетом и без учета особенностей гидрохимической информации

Год наблюдений	Опочка, верхний створ			Опочка, нижний створ			Остров, верхний створ		
	Са, мг/л	Свнз, мг/л	Δ, %	Са, мг/л	Свнз, мг/л	Δ, %	Са, мг/л	Свнз, мг/л	Δ, %
1969	16,78	18,11	7,35	19,03	18,07	-5,30	20,63	23,10	10,70
1970	19,10	17,38	-9,89	20,15	17,58	-14,62	30,65	25,26	-21,32
1971	14,30	16,28	12,17	16,05	17,85	10,07	26,40	27,26	3,14
1972	18,10	17,76	-1,90	18,50	20,14	8,15	22,90	23,64	3,14
1973	25,20	23,33	-8,01	25,70	24,12	-6,57			
1974									
1975	13,80	15,26	9,55						
1976									
1977	24,08	23,94	-0,56	18,98	17,67	-7,38	40,03	26,99	-48,32
1978	26,30	27,30	3,66	26,18	27,35	4,30	29,30	28,72	-2,02
1979	17,83	19,51	8,64	18,40	19,99	7,95	22,83	19,04	-19,91
1980	15,47	17,17	9,92	15,30	16,23	5,72	31,07	30,45	-2,03
1981	28,17	20,49	-37,45	19,63	19,90	1,36	25,28	26,21	3,56
1982	15,33	15,82	3,15	16,85	17,83	5,48	26,68	27,25	2,10
1983	21,00	20,78	-1,06	22,95	21,00	-9,29	10,85	16,71	35,07
1984	17,80	18,97	6,16	18,00	18,85	4,51	21,70	19,46	-11,52
1985	15,20	18,08	15,92	15,15	18,08	16,23	24,50	21,72	-12,81
1986	50,33	47,14	-6,77	51,33	47,41	-8,27	32,00	28,18	-13,55
1987	24,50	24,10	-1,65	23,75	23,45	-1,27	32,00	33,01	3,05
1988	20,75	20,23	-2,55	21,50	20,27	-6,05	29,50	28,12	-4,90
1989	20,50	19,92	-2,91	20,33	20,28	-0,25	30,25	29,28	-3,33
1990	22,00	21,32	-3,17	23,67	22,71	-4,19	31,00	31,12	0,37
1991	15,00	14,84	-1,08	13,00	14,00	7,14	21,50	22,10	2,71
1992	15,50	14,78	-4,90	14,75	14,02	-5,24	19,25	20,85	7,65
1993	10,13	8,84	-14,62	7,60	7,71	1,44	18,67	17,32	-7,76
1994									
1995									
1996									
1997									
1998									
1999	15,00	13,07	-14,73	14,50	14,02	-3,43	40,00	39,18	-2,10
2000							36,00	33,54	-7,34
2001	23,67	23,59	-0,31	26,67	27,06	1,47	36,00	34,29	-4,97
2002	43,75	43,77	0,04	49,00	47,72	-2,68	37,13	43,47	14,58
2003	41,00	42,46	3,44	44,61	45,30	1,52	43,90	41,75	-5,15
2004	36,80	35,72	-3,02	40,21	40,80	1,45	39,48	40,60	2,77
2005	19,43	18,45	-5,29	28,05	23,96	-17,07	29,88	32,96	9,36
2006	26,28	27,97	6,05	27,95	29,06	3,82	35,96	40,78	11,83
2007	28,55	29,36	2,75	25,53	27,07	5,70	35,00	37,61	6,94
2008	24,87	24,62	-1,02	29,10	29,30	0,67	38,00	40,30	5,72
2009	21,48	16,15	-33,00	21,33	21,44	0,52	39,45	32,30	-22,15
среднее многолетнее	22,67	22,32	-1,97	23,55	23,44	-0,13	29,93	29,45	-2,08

Таблица Б.3 (продолжение)

Год наблюдений	Остров, нижний створ			Псков, верхний створ			Псков, нижний створ		
	Са, мг/л	Свнэ, мг/л	Δ, %	Са, мг/л	Свнэ, мг/л	Δ, %	Са, мг/л	Свнэ, мг/л	Δ, %
1969	20,25	22,81	11,23	24,03	27,65	13,09	18,95	20,18	6,11
1970	30,45	24,71	-23,21	35,00	28,31	-23,63	37,53	36,56	-2,65
1971	26,63	30,39	12,37	33,13	36,02	8,01	30,23	32,46	6,87
1972	26,90	27,41	1,85	32,80	33,22	1,28	30,40	33,29	8,67
1973									
1974									
1975									
1976									
1977	40,23	37,48	-7,35	35,75	41,66	14,18	47,43	44,63	-6,27
1978	27,90	27,45	-1,63	36,90	39,93	7,59	35,30	38,73	8,86
1979	16,70	18,93	11,77	25,00	29,51	15,30	13,90	23,99	42,07
1980	31,35	27,34	-14,68	36,90	35,73	-3,27	40,20	37,71	-6,60
1981	24,53	25,84	5,08	36,35	40,89	11,11	32,15	34,00	5,44
1982	27,63	29,19	5,36	36,30	38,23	5,05	33,40	34,69	3,71
1983	18,35	27,37	32,97	16,85	29,80	43,45	22,60	30,92	26,90
1984	20,65	18,33	-12,63	40,60	41,36	1,84	38,90	37,59	-3,49
1985	23,83	21,54	-10,62	36,80	35,11	-4,81	30,13	28,51	-5,66
1986	31,25	27,81	-12,35	38,00	36,49	-4,15	34,50	32,53	-6,05
1987	31,00	30,22	-2,57	24,00	27,46	12,61	21,00	23,61	11,04
1988	24,00	23,43	-2,42	31,91	31,40	-1,61	32,36	31,56	-2,54
1989	25,67	25,62	-0,17	28,78	30,24	4,83	27,75	30,45	8,87
1990	26,75	27,33	2,12	29,08	30,25	3,84	30,08	31,20	3,59
1991	19,00	19,95	4,77	26,50	27,93	5,11	26,17	28,21	7,25
1992	17,75	19,31	8,09	22,90	22,78	-0,51	21,55	21,20	-1,65
1993	18,67	17,29	-7,93	20,44	21,44	4,66	22,11	22,24	0,56
1994									
1995									
1996									
1997									
1998									
1999	40,00	45,94	12,93	37,33	27,04	-38,08	42,00	40,07	-4,83
2000	36,00	34,62	-3,97						
2001	34,00	34,89	2,55						
2002	46,00	46,63	1,35						
2003	47,01	44,56	-5,49						
2004	37,13	38,61	3,83						
2005	27,35	29,54	7,40						
2006	37,53	43,30	13,33						
2007	35,43	38,83	8,76						
2008	29,80	30,95	3,72						
2009	33,00	29,34	-12,46						
среднее многолетнее	29,15	29,59	1,00	31,15	32,38	3,45	30,39	31,56	4,55

Таблица Б.4 - Расчет среднегодовой концентрации азота аммонийного с учетом и без учета особенностей гидрохимической информации

Год наблюдений	Опочка, верхний створ			Опочка, нижний створ			Остров, верхний створ		
	Ca, мг/л	Свнз, мг/л	Δ, %	Ca, мг/л	Свнз, мг/л	Δ, %	Ca, мг/л	Свнз, мг/л	Δ, %
1969	0,25	0,35	27,18	0,21	0,27	20,66	0,37	0,49	25,65
1970	0,22	0,17	-32,88	0,14	0,14	-3,35	0,39	0,28	-38,51
1971	0,15	0,17	12,83	0,23	0,25	7,15	0,46	0,53	13,06
1972	0,27	0,24	-12,93	0,27	0,23	-16,76	0,68	0,63	-7,75
1973	0,16	0,16	-2,37	0,15	0,13	-18,27	0,28	0,92	69,82
1974	0,32	0,28	-13,09	0,41	0,37	-11,56	0,74	0,68	-8,16
1975	0,18	0,20	10,45	0,29	0,31	6,16	0,42	0,37	-12,92
1976	0,10	0,07	-46,67	0,18	0,14	-25,82	0,19	0,16	-21,30
1977	0,21	0,22	4,54	0,21	0,24	10,71	0,28	0,37	24,69
1978	0,37	0,43	13,33	0,43	0,48	11,24	0,37	0,37	-0,17
1979	0,27	0,32	16,59	0,29	0,32	10,19	0,28	0,23	-23,44
1980	0,12	0,12	-29,51	0,06	0,05	-17,51	0,03	0,06	44,99
1981	0,16	0,12	-29,51	0,17	0,13	-30,94	0,10	0,11	5,91
1982	0,02	0,01	-3,54	0,04	0,02	-44,41	0,02	0,01	-13,20
1983	0,02	0,02	-1,39	0,01	0,01	23,37	0,01	0,01	-49,66
1984	0,02	0,02	-1,39	0,05	0,05	-1,57	0,02	0,02	1,65
1985	0,02	0,02	-1,39	0,02	0,02	20,90	0,02	0,02	-6,18
1986	0,02	0,02	-3,64	0,03	0,03	-8,78	0,02	0,02	-7,49
1987	0,01	0,01	27,90	0,07	0,05	-27,43	0,46	0,52	13,25
1988	0,02	0,02	-10,45	0,03	0,04	12,72	0,03	0,02	-35,54
1989	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
1990	0,01	0,01	-2,94	0,00	0,01	100,00	0,01	0,01	-3,44
1991	0,01	0,01	-1,39	0,00	0,01	100,00	0,01	0,01	-1,39
1992	0,01	0,01	-1,67	0,00	0,01	100,00	0,01	0,01	-1,39
1993	0,01	0,01	4,14	0,00	0,01	100,00	0,01	0,01	-1,39
1994	0,01	0,01	-1,39	0,00	0,01	100,00	0,01	0,01	-1,67
1995	0,01	0,01	-1,39	0,00	0,01	100,00	0,01	0,01	-1,96
1996	0,01	0,01	-1,39	0,21	0,07	-191,01	0,02	0,02	-27,87
1997	0,01	0,01	-1,39	0,03	0,01	-80,86	0,01	0,01	-1,96
1998	0,01	0,01	-1,39	0,01	0,01	-1,39	0,01	0,01	-16,84
1999	0,01	0,01	-1,39	0,01	0,01	-1,39	0,01	0,01	32,05
2000	0,01	0,04	72,68	0,01	0,03	70,05	0,19	0,13	-51,93
2001	0,23	0,15	-57,76	0,17	0,11	-55,18	0,33	0,45	27,06
2002	0,14	0,17	20,09	0,15	0,18	21,61	0,16	0,22	27,25
2003	0,04	0,03	-15,53	0,07	0,07	-1,00	0,04	0,03	-19,75
2004	0,04	0,05	13,45	0,03	0,04	10,70	0,03	0,02	-22,22
2005	0,05	0,05	-1,37	0,05	0,05	0,96	0,05	0,05	-13,92
2006	0,04	0,04	-12,19	0,04	0,04	-12,10	0,03	0,02	-33,16
2007	0,03	0,03	10,27	0,04	0,04	-2,23	0,02	0,02	-25,83
2008	0,04	0,03	-25,95	0,03	0,03	-22,87	0,07	0,04	-84,86
2009	0,00	0,00	-30,69	0,00	0,00	-110,59	0,00	0,00	-97,27
среднее многолетнее	0,088	0,089	0,394	0,101	0,098	5,888	0,151	0,168	-5,995

Таблица Б.4 (продолжение)

Год наблюдений	Остров, нижний створ			Псков, верхний створ			Псков, нижний створ		
	Са, мг/л	Свнэ, мг/л	Δ, %	Са, мг/л	Свнэ, мг/л	Δ, %	Са, мг/л	Свнэ, мг/л	Δ, %
1969	0,33	0,46	28,62	0,32	0,44	26,06	0,42	0,41	-0,40
1970	0,31	0,25	-26,43	0,69	0,48	-44,05	0,57	0,62	8,42
1971	0,50	0,47	-5,52	0,58	0,68	14,24	0,52	0,60	13,59
1972	0,46	0,47	1,38	0,41	0,77	46,40	0,48	0,49	2,40
1973	0,35	0,40	12,88	0,42	0,46	8,86	0,53	0,54	2,65
1974	0,92	0,81	-13,58	0,61	0,68	9,64	0,86	0,69	-23,47
1975	0,47	0,51	7,91	0,38	0,40	5,37	0,58	0,56	-2,57
1976	0,25	0,23	-9,44	0,22	0,25	14,26	0,37	0,37	-0,65
1977	0,50	0,47	-4,50	0,69	0,77	10,35	0,75	0,81	7,35
1978	0,52	0,44	-17,56	1,07	0,89	-19,20	1,05	0,82	-27,53
1979	0,28	0,25	-12,50	0,38	0,50	24,32	0,30	0,45	33,49
1980	0,05	0,12	61,87	0,02	0,05	71,00	0,13	0,11	-15,96
1981	0,20	0,23	9,35	0,18	0,17	-7,42	0,03	0,03	-7,59
1982	0,02	0,02	5,17	0,02	0,01	-42,88	0,01	0,01	-36,76
1983	0,03	0,02	-10,91	0,02	0,01	-24,89	0,03	0,01	-81,71
1984	0,02	0,03	45,27	0,03	0,02	-16,44	0,03	0,02	-6,65
1985	0,08	0,05	-80,35	0,03	0,02	-14,05	0,02	0,02	-30,79
1986	0,03	0,02	-9,08	0,02	0,02	-12,16	0,03	0,02	-11,75
1987	0,01	0,01	8,50	0,09	0,12	29,09	0,00	0,01	100,00
1988	0,02	0,01	-30,30	0,03	0,02	-11,37	0,02	0,01	-39,03
1989	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,01	43,50
1990	0,01	0,01	-3,44	0,01	0,02	11,44	0,01	0,01	24,55
1991	0,01	0,01	-1,39	0,01	0,01	-1,39	0,01	0,01	-27,86
1992	0,01	0,01	-1,39	0,01	0,02	52,00	0,01	0,01	23,84
1993	0,01	0,01	-1,39	0,01	0,01	5,98	0,01	0,01	11,71
1994	0,01	0,01	-1,67	0,01	0,01	27,77	0,02	0,02	12,98
1995	0,01	0,01	-1,96	0,01	0,01	-12,45	0,01	0,01	29,31
1996	0,02	0,01	-23,11	0,02	0,04	50,34	0,08	0,37	79,46
1997	0,02	0,01	-13,28	0,03	0,05	32,86	0,01	0,01	29,14
1998	0,01	0,01	-12,87	0,02	0,02	-15,13	0,02	0,02	-9,35
1999	0,03	0,02	-16,56	0,02	0,02	-1,66	0,03	0,02	-22,80
2000	0,14	0,07	-94,58	0,30	0,22	-38,21	0,20	0,14	-39,08
2001	0,38	0,43	13,31						
2002	0,18	0,24	23,18						
2003	0,09	0,06	-55,85						
2004	0,02	0,02	1,30						
2005	0,42	0,42	0,74						
2006	0,08	0,07	-8,99						
2007	0,04	0,04	-16,57						
2008	0,05	0,04	-25,23						
2009	0,01	0,01	-13,12						
среднее многолетнее	0,167	0,165	-4,685	0,207	0,225	8,709	0,222	0,227	1,202

Таблица Б.5 - Расчет среднегодовой концентрации азота нитритного с учетом и без учета особенностей гидрохимической информации

Год наблюдений	Опочка, верхний створ			Опочка, нижний створ			Остров, верхний створ		
	Ca, мг/л	Свнз, мг/л	Δ, %	Ca, мг/л	Свнз, мг/л	Δ, %	Ca, мг/л	Свнз, мг/л	Δ, %
1969	0,00000	0,00016	100,00	0,0000	0,0002	100,00	0,0025	0,0048	47,96
1970	0,00000	0,00001	100,00	0,0000	0,0000	100,00	0,0000	0,0001	100,00
1971	0,0008	0,00103	27,32	0,0305	0,0277	-10,04	0,0125	0,0286	56,37
1972	0,0000	0,00007	100,00	0,0000	0,0153	100,00	0,0000	0,0176	100,00
1973	0,0000	0,00049	100,00	0,0900	0,0502	-79,34	0,0100	0,0327	69,42
1974	0,0067	0,00460	-44,84	0,0033	0,0116	71,31	0,0100	0,0094	-5,97
1975	0,0000	0,00043	100,00	0,0050	0,0042	-20,40	0,0025	0,0026	4,12
1976	0,0025	0,00376	33,44	0,0050	0,0064	22,04	0,0050	0,0086	42,15
1977	0,0050	0,00507	1,46	0,0100	0,0094	-6,14	0,0033	0,0032	-4,37
1978	0,0107	0,00848	-25,83	0,0388	0,0219	-77,06	0,0090	0,0076	-17,67
1979	0,0058	0,00635	9,42	0,0218	0,0141	-54,20	0,0070	0,0078	9,86
1980	0,0030	0,00335	10,39	0,0058	0,0082	30,03	0,0060	0,0055	-8,29
1981	0,0063	0,00414	-51,04	0,0450	0,0398	-13,12	0,0018	0,0024	25,82
1982	0,0068	0,01099	38,58	0,0388	0,0388	0,01	0,0018	0,0013	-33,25
1983	0,0000	0,00093	100,00	0,0000	0,0010	100,00	0,0037	0,0059	38,37
1984	0,0067	0,00609	-9,44	0,0703	0,1480	52,46	0,0018	0,0029	40,65
1985	0,0000	0,00048	100,00	0,0000	0,0034	100,00	0,0020	0,0008	-144,36
1986	0,0000	0,00000	0,00	0,0000	0,0000	0,00	0,0080	0,0099	19,07
1987	0,0000	0,00000	0,00	0,0200	0,0153	-30,97	0,0060	0,0069	13,16
1988	0,0000	0,00000	0,00	0,0100	0,0153	34,65	0,0000	0,0000	0,00
1989	0,0000	0,00051	100,00	0,0000	0,0005	100,00	0,0000	0,0004	100,00
1990	0,0038	0,00486	22,79	0,0263	0,0283	7,19	0,0050	0,0048	-3,44
1991	0,0050	0,00493	-1,39	0,0050	0,0049	-1,39	0,0050	0,0049	-1,39
1992	0,0050	0,00492	-1,67	0,0050	0,0049	-1,67	0,0050	0,0049	-1,39
1993	0,0050	0,00493	-1,39	0,0050	0,0049	-1,39	0,0050	0,0049	-1,39
1994	0,0050	0,00493	-1,39	0,0050	0,0049	-1,39	0,0050	0,0049	-1,67
1995	0,0050	0,00493	-1,39	0,0050	0,0049	-1,39	0,0050	0,0049	-1,96
1996	0,0050	0,00493	-1,39	0,0050	0,0049	-1,39	0,0063	0,0054	-16,65
1997	0,0050	0,00493	-1,39	0,0085	0,0059	-45,16	0,0065	0,0065	-0,20
1998	0,0050	0,00493	-1,39	0,0050	0,0049	-1,39	0,0050	0,0051	2,02
1999	0,0050	0,00493	-1,39	0,0050	0,0049	-1,39	0,0050	0,0049	-1,39
2000	0,0050	0,00493	-1,39	0,0050	0,0049	-1,39	0,0050	0,0049	-1,39
2001	0,0050	0,00493	-1,39	0,0113	0,0113	0,08	0,0050	0,0049	-1,39
2002	0,0050	0,00493	-1,39	0,0050	0,0059	15,79	0,0050	0,0049	-1,39
2003	0,0050	0,00474	-5,52	0,0050	0,0047	-5,52	0,0050	0,0048	-5,14
2004	0,0013	0,00110	-13,77	0,0000	0,0003	100,00	0,0000	0,0003	100,00
2005	0,0018	0,00230	23,82	0,0013	0,0010	-19,08	0,0030	0,0033	8,21
2006	0,0038	0,00422	11,15	0,0043	0,0033	-28,95	0,0035	0,0050	29,51
2007	0,0008	0,00056	-32,98	0,0003	0,0007	66,12	0,0003	0,0007	63,98
2008	0,0010	0,00075	-32,63	0,0000	0,0000	0,00	0,0010	0,0007	-53,07
2009	0,0003	0,00020	-23,30	0,0003	0,0001	-265,99	0,0003	0,0001	-301,83
среднее многолетнее	0,0032	0,00329	17,61176	0,01222	0,01310	8,07121	0,00423	0,00586	6,41616

Таблица Б.5 (продолжение)

Год наблюдений	Остров, нижний створ			Псков, верхний створ			Псков, нижний створ		
	Са, мг/л	Свнэ, мг/л	Δ, %	Са, мг/л	Свнэ, мг/л	Δ, %	Са, мг/л	Свнэ, мг/л	Δ, %
1969	0,0050	0,0065	23,03	0,0025	0,0047	47,17	0,0075	0,0078	3,94
1970	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0,0000	0,00	0,0133	0,0116	-15,32
1971	0,0100	0,0038	-159,99	0,0100	0,0038	-159,80	0,0200	0,0092	-116,49
1972	0,0000	0,0076	100,00	0,0000	0,0082	100,00	0,0000	0,0000	0,00
1973	0,0100	0,0164	39,20	0,0200	0,0186	-7,34	0,0520	0,0498	-4,40
1974	0,0325	0,0295	-10,08	0,0080	0,0081	1,03	0,0050	0,0174	71,31
1975	0,0150	0,0143	-4,72	0,0067	0,0035	-87,93	0,0750	0,0505	-48,46
1976	0,0100	0,0118	15,45	0,0025	0,0016	-59,48	0,0100	0,0099	-1,39
1977	0,0150	0,0079	-90,59	0,0033	0,0030	-10,11	0,0067	0,0077	13,42
1978	0,0307	0,0332	7,77	0,0095	0,0046	-106,47	0,0170	0,0167	-2,04
1979	0,0120	0,0219	45,14	0,0090	0,0065	-38,80	0,0120	0,0137	12,43
1980	0,0070	0,0069	-1,95	0,0030	0,0082	63,29	0,0030	0,0031	3,27
1981	0,0000	0,0009	100,00	0,0323	0,0271	-19,00	0,0025	0,0041	38,75
1982	0,0000	0,0005	100,00	0,0133	0,0227	41,67	0,0095	0,0081	-16,66
1983	0,0077	0,0089	13,51	0,0023	0,0096	75,72	0,0110	0,0155	28,86
1984	0,0000	0,0028	100,00	0,0313	0,0210	-48,82	0,0838	0,0646	-29,63
1985	0,0105	0,0043	-144,36	0,0045	0,0017	-165,53	0,0045	0,0019	-133,87
1986	0,0023	0,0024	4,30	0,0000	0,0004	100,00	0,0000	0,0000	0,00
1987	0,0000	0,0008	100,00	0,0105	0,0103	-1,46	0,0000	0,0000	0,00
1988	0,0023	0,0030	21,88	0,0000	0,0002	100,00	0,0000	0,0000	0,00
1989	0,0000	0,0004	100,00	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0,0009	100,00
1990	0,0050	0,0048	-3,44	0,0050	0,0048	-4,53	0,0050	0,0048	-4,53
1991	0,0050	0,0049	-1,39	0,0050	0,0049	-1,39	0,0050	0,0049	-1,39
1992	0,0085	0,0085	-0,33	0,0050	0,0049	-1,39	0,0050	0,0049	-1,39
1993	0,0050	0,0053	5,38	0,0050	0,0049	-1,39	0,0066	0,0075	12,46
1994	0,0055	0,0051	-6,84	0,0050	0,0049	-1,39	0,0055	0,0053	-2,99
1995	0,0050	0,0049	-1,96	0,0050	0,0049	-1,67	0,0050	0,0049	-1,67
1996	0,0050	0,0056	11,07	0,0050	0,0049	-1,39	0,0050	0,0049	-1,39
1997	0,0148	0,0139	-6,05	0,0150	0,0141	-6,21	0,0103	0,0092	-11,02
1998	0,0050	0,0051	2,57	0,0050	0,0074	32,41	0,0050	0,0061	18,24
1999	0,0095	0,0073	-30,24	0,0050	0,0049	-1,39	0,0050	0,0049	-1,02
2000	0,0050	0,0054	7,39	0,0050	0,0049	-1,39	0,0050	0,0049	-1,02
2001	0,0050	0,0049	-1,39	0,0050	0,0049	-1,39	0,0050	0,0049	-1,02
2002	0,0050	0,0049	-1,39	0,0050	0,0049	-1,39	0,0050	0,0049	-1,02
2003	0,0065	0,0070	7,08	0,0050	0,0049	-1,39	0,0050	0,0049	-1,02
2004	0,0000	0,0004	100,00	0,0050	0,0049	-1,39	0,0050	0,0049	-1,02
2005	0,0028	0,0030	6,97	0,0050	0,0049	-1,39	0,0050	0,0049	-1,02
2006	0,0050	0,0060	17,27	0,0050	0,0049	-1,39	0,0050	0,0049	-1,02
2007	0,0003	0,0005	51,98	0,0050	0,0049	-1,39	0,0050	0,0049	-1,02
2008	0,0025	0,0037	32,30	0,0050	0,0049	-1,39	0,0050	0,0049	-1,02
2009	0,0003	0,0001	-301,83	0,0060	0,0041	-46,49	0,0060	0,0042	-41,44
среднее многолетнее	0,00660	0,00696	5,99369	0,00733	0,00715	-6,58395	0,01238	0,01107	-4,13763

Таблица Б.6 - Расчет среднегодовой концентрации азота нитратного с учетом и без учета особенностей гидрохимической информации

Год наблюдений	Опочка, верхний створ			Опочка, нижний створ			Остров, верхний створ		
	Са, мг/л	Свнз, мг/л	Δ, %	Са, мг/л	Свнз, мг/л	Δ, %	Са, мг/л	Свнз, мг/л	Δ, %
1969	0,0467	0,0779	40,10	0,0933	0,2019	53,77	0,1133	0,3271	65,35
1970	0,0450	0,0290	-55,16	0,0550	0,0345	-59,44	0,1575	0,0998	-57,82
1971	0,3700	0,3318	-11,51	0,6233	0,4275	-45,81	0,6500	0,4602	-41,24
1978	0,3325	0,3479	4,44	0,4000	0,4060	1,47	0,5200	0,3795	-37,04
1979	0,3075	0,3609	14,79	0,2600	0,3293	21,03	0,0200	0,1015	80,29
1980	0,3233	0,4059	20,35	0,2500	0,3259	23,28	0,3925	0,4471	12,22
1981	0,3588	0,2344	-53,02	0,3218	0,3110	-3,47	0,3225	0,3567	9,58
1982	0,3800	0,4696	19,07	0,4225	0,5129	17,63	0,5300	0,7733	31,47
1983	0,1300	0,1284	-1,27	0,0900	0,2374	62,09	0,1500	0,2884	47,98
1984	0,5533	0,6014	7,99	0,7733	1,0427	25,83	0,3575	0,4381	18,39
1985	0,6750	0,7470	9,64	0,9750	0,9991	2,41	0,5750	0,8168	29,60
1986	0,1933	0,1658	-16,63	0,3267	0,3516	7,09	0,2325	0,2352	1,13
1987	0,3325	0,3881	14,32	0,3225	0,3981	18,99	0,4175	0,3876	-7,73
1988	0,2833	0,2632	-7,63	0,3567	0,3358	-6,20	0,4950	0,5857	15,48
1989	0,5300	0,5217	-1,59	0,4750	0,4435	-7,10	0,3975	0,4203	5,43
1990	0,4450	0,4486	0,81	0,4500	0,4727	4,80	0,3225	0,3297	2,20
1991	0,3200	0,2851	-12,23	0,2600	0,1297	-100,44	0,3550	0,2606	-36,21
1992	0,1475	0,1661	11,21	0,2575	0,2756	6,58	0,3450	0,3737	7,67
1993	0,7233	0,6237	-15,97	0,4833	0,5149	6,12	0,4567	0,6351	28,10
1994	0,2400	0,2742	12,46	0,6700	0,9518	29,61	0,2275	0,2676	14,98
1995	0,0733	0,0671	-9,28	0,1067	0,0987	-8,04	0,0850	0,1197	29,01
1996	0,3850	0,2567	-49,95	0,4800	0,4308	-11,43	0,4550	0,5066	10,19
1997	0,4500	0,3548	-26,82	0,9000	0,5315	-69,32	0,3425	0,4044	15,31
1998	0,0700	0,1253	44,15	0,0800	0,1506	46,86	0,0967	0,0786	-22,93
1999	0,0250	0,0482	48,09	0,0400	0,0596	32,87	0,0850	0,1002	15,15
2000	0,0650	0,0737	11,85	0,0700	0,0630	-11,09	0,2000	0,6142	67,44
2001	0,2225	0,2817	21,00	0,3700	0,4473	17,29	0,1500	0,0539	-178,13
2002	0,3900	0,4002	2,55	0,4075	0,4342	6,14	0,4300	0,4752	9,52
2003	0,4725	0,5025	5,96	0,4725	0,5065	6,70	0,6850	0,8119	15,63
2004	0,2600	0,2800	7,13	0,3150	0,3335	5,54	0,3075	0,3512	12,44
2005	0,3520	0,4051	13,10	0,3763	0,4232	11,09	0,3058	0,3382	9,59
2006	0,6115	0,7632	19,87	0,5498	0,6983	21,28	0,4723	0,5901	19,97
2007	0,2080	0,2272	8,45	0,2115	0,2333	9,33	0,3003	0,3001	-0,04
2008	0,1963	0,2085	5,86	0,3638	0,4288	15,17	0,2448	0,2432	-0,63
2009	0,2290	0,2142	-6,90	0,2213	0,2442	9,38	0,3250	0,3164	-2,71
среднее многолетнее	0,3071	0,3165	2,1501	0,3666	0,3939	4,0008	0,3292	0,3797	5,4186

Таблица Б.6 (продолжение)

Год наблюдений	Остров, нижний створ			Псков, верхний створ			Псков, нижний створ		
	Са, мг/л	Свнз, мг/л	Δ, %	Са, мг/л	Свнз, мг/л	Δ, %	Са, мг/л	Свнз, мг/л	Δ, %
1969	0,1133	0,2687	57,82	0,0667	0,2161	69,15	0,1433	0,1070	-34,01
1970	0,1400	0,5901	76,28	0,1700	0,1036	-64,15	0,0933	0,1329	29,76
1971	0,7050	0,5898	-19,53	0,7700	0,8039	4,22	0,9033	0,8966	-0,75
1978	0,4525	0,4171	-8,50	1,1200	0,8498	-31,79	1,2050	0,9570	-25,92
1979	0,1400	0,1553	9,83	0,1400	0,4063	65,54	0,2500	0,4645	46,18
1980	0,5233	0,7060	25,88	0,7125	0,8934	20,25	0,5100	0,6695	23,82
1981	0,5045	0,5513	8,48	0,5758	0,6576	12,45	0,4285	0,4958	13,58
1982	0,6125	0,8057	23,98	0,5025	0,6794	26,04	0,7600	1,0095	24,71
1983	0,1867	0,2548	26,74	0,2067	0,3044	32,11	0,2733	0,4235	35,45
1984	0,4725	0,5659	16,51	0,4450	0,5477	18,75	0,6750	0,8456	20,17
1985	0,7350	1,0961	32,94	0,6775	0,8337	18,74	0,7600	1,0828	29,81
1986	0,3675	0,3396	-8,20	0,3575	0,4076	12,29	0,4250	0,4296	1,07
1987	0,3625	0,3491	-3,84	1,2500	0,8052	-55,23	0,6900	0,6435	-7,22
1988	0,4800	0,6308	23,91	0,4750	0,4937	3,79	0,8000	0,8095	1,17
1989	0,3333	0,3126	-6,63	0,6233	0,4998	-24,73	2,1667	1,6188	-33,85
1990	0,4325	0,5058	14,49	0,5425	0,5686	4,59	0,6925	0,7198	3,79
1991	0,4600	0,4332	-6,18	0,5350	0,3865	-38,41	0,5300	0,3371	-57,21
1992	0,3450	0,4327	20,26	0,3633	0,3711	2,10	0,6000	0,5720	-4,90
1993	0,2067	0,3150	34,40	0,7350	0,8032	8,49	0,6020	0,4206	-43,13
1994	0,2725	0,1903	-43,23	0,1875	0,1710	-9,66	0,2950	0,2393	-23,30
1995	0,1625	0,1747	7,01	0,1050	0,1067	1,64	0,0825	0,0848	2,70
1996	0,3600	0,3965	9,22	0,2875	0,3262	11,86	0,2225	0,2549	12,72
1997	0,4075	0,2265	-79,89	0,4775	0,5011	4,70	0,4375	0,4843	9,66
1998	0,0867	0,0781	-10,91	0,0733	0,1002	26,80	0,1000	0,1146	12,77
1999	0,0900	0,1355	33,56	0,0733	0,0357	30,05	0,0600	0,0631	4,99
2000	0,2350	0,2370	0,85	0,0250	0,0357	30,05	0,0600	0,0631	4,99
2001	0,1150	0,3062	62,45	0,1900	0,1412	-34,59	0,1600	0,0958	-66,95
2002	0,4925	0,5566	11,52						
2003	0,9575	1,1892	19,49						
2004	0,3350	0,4061	17,52						
2005	0,3108	0,3536	12,13						
2006	0,5875	0,7597	22,67						
2007	0,2965	0,2925	-1,36						
2008	0,2550	0,2684	5,00						
2009	0,3975	0,3689	-7,75						
среднее многолетнее	0,3696	0,4360	10,7683	0,4467	0,4621	4,4229	0,5333	0,5374	-0,9572

Таблица Б.7 - Расчет среднегодовой концентрации железа общего с учетом и без учета особенностей гидрохимической информации

Год наблюдений	Опочка, верхний створ			Опочка, нижний створ			Остров, верхний створ		
	Ca, мг/л	Свнз, мг/л	Δ, %	Ca, мг/л	Свнз, мг/л	Δ, %	Ca, мг/л	Свнз, мг/л	Δ, %
1969	0,075	0,070	-7,32	0,013	0,067	80,18	0,093	0,097	5,08
1970	0,080	0,056	-42,03	0,095	0,063	-50,94	0,105	0,080	-31,36
1971	0,135	0,072	-86,78	0,080	0,052	-53,63	0,177	0,111	-58,73
1972	0,000	0,008	100,00	0,010	0,015	31,92	0,080	0,175	54,16
1973	0,017	0,024	31,67	0,013	0,019	30,44	0,093	0,306	69,50
1974	0,100	0,086	-16,08	0,013	0,115	88,37	0,245	0,232	-5,46
1975	0,040	0,045	11,40	0,013	0,046	71,30	0,118	0,118	0,80
1976	0,083	0,090	8,20	0,013	0,116	88,50	0,110	0,111	1,11
1977	0,148	0,146	-1,33	0,013	0,130	89,78	0,123	0,102	-19,74
1978	0,213	0,209	-1,63	0,013	0,176	92,41	0,210	0,163	-28,48
1979	0,095	0,070	-36,58	0,013	0,070	81,07	0,040	0,051	21,82
1980	0,060	0,064	5,90	0,013	0,046	71,01	0,143	0,116	-23,12
1981	0,050	0,027	-82,42	0,013	0,079	83,17	0,165	0,177	6,67
1982	0,028	0,019	-44,77	0,013	0,020	34,89	0,098	0,108	9,31
1983	0,033	0,035	3,89	0,020	0,025	21,56	0,113	0,199	42,97
1984	0,053	0,051	-4,33	0,013	0,061	78,29	0,078	0,080	3,03
1985	0,050	0,046	-8,10	0,055	0,048	-14,68	0,143	0,153	7,09
1986	0,013	0,027	50,41	0,022	0,012	-76,68	0,065	0,071	8,71
1987	0,037	0,029	-24,82	0,013	0,032	58,86	0,143	0,141	-0,71
1988	0,020	0,019	-2,95	0,013	0,028	52,19	0,065	0,064	-1,92
1989	0,028	0,031	10,26	0,013	0,025	45,59	0,090	0,084	-7,61
1990	0,050	0,053	4,83	0,013	0,046	70,87	0,095	0,093	-2,34
1991	0,040	0,037	-9,07	0,013	0,028	52,87	0,060	0,066	9,09
1992	0,018	0,017	-6,02	0,013	0,016	18,51	0,033	0,031	-3,42
1993	0,010	0,011	9,94	0,013	0,021	37,89	0,060	0,067	10,41
1994	0,020	0,018	-9,83	0,013	0,011	-17,35	0,090	0,135	33,26
1995	0,010	0,010	-1,39	0,013	0,016	15,82	0,023	0,025	6,23
1996	0,010	0,010	-1,39	0,013	0,016	15,82	0,018	0,026	32,00
1997	0,035	0,029	-20,76	0,013	0,032	58,08	0,068	0,081	16,84
1998	0,020	0,021	6,68	0,013	0,023	42,37	0,153	0,119	-28,82
1999	0,030	0,022	-37,56	0,013	0,023	43,12	0,010	0,072	86,07
2000	0,020	0,039	48,52	0,013	0,066	79,80	0,210	0,161	-30,82
2001	0,090	0,118	23,74	0,013	0,178	92,50	0,195	0,368	47,08
2002	0,145	0,154	5,57	0,013	0,233	94,29	0,203	0,226	10,42
2003	0,158	0,153	-3,06	0,013	0,158	91,55	0,323	0,346	6,67
2004	0,265	0,245	-8,15	0,013	0,265	94,98	0,455	0,442	-2,84
2005	0,163	0,182	10,59	0,013	0,182	92,65	0,235	0,250	5,93
2006	0,188	0,209	10,44	0,013	0,199	93,31	0,328	0,405	19,18
2007	0,180	0,194	7,02	0,013	0,170	92,18	0,298	0,347	14,18
2008	0,263	0,283	7,33	0,013	0,185	92,78	0,345	0,401	14,01
2009	0,173	0,107	-60,73	0,013	0,142	90,60	0,410	0,337	-21,76
среднее многолетнее	0,079	0,082	-4,458	0,015	0,085	57,606	0,153	0,165	7,074

Таблица Б.7 (продолжение)

Год наблюдений	Остров, нижний створ			Псков, верхний створ			Псков, нижний створ		
	Са, мг/л	Свнз, мг/л	Δ, %	Са, мг/л	Свнз, мг/л	Δ, %	Са, мг/л	Свнз, мг/л	Δ, %
1969	0,078	0,074	-4,27	0,073	0,071	-2,38	0,073	0,092	20,65
1970	0,095	0,069	-37,92	0,120	0,080	-50,76	0,097	0,088	-10,27
1971	0,157	0,107	-46,13	0,167	0,133	-25,55	0,213	0,148	-44,16
1972	0,060	0,099	39,16	0,100	0,096	-4,41	0,105	0,110	4,13
1973	0,090	0,130	30,56	0,115	0,174	34,00	0,110	0,062	-76,27
1974	0,258	0,249	-3,29	0,238	0,304	21,53	0,227	0,200	-13,21
1975	0,133	0,129	-2,68	0,200	0,226	11,58	0,200	0,200	-0,04
1976	0,080	0,086	6,57	0,063	0,077	18,93	0,083	0,154	46,29
1977	0,080	0,089	9,72	0,190	0,218	12,91	0,313	0,441	28,95
1978	0,217	0,206	-5,17	0,200	0,159	-25,56	0,240	0,216	-10,97
1979	0,140	0,128	-9,73	0,050	0,089	43,80	0,190	0,194	2,04
1980	0,077	0,103	25,37	0,117	0,109	-7,13	0,153	0,186	17,61
1981	0,205	0,210	2,21	0,155	0,193	19,85	0,288	0,272	-5,61
1982	0,085	0,102	16,40	0,223	0,283	21,50	0,163	0,192	15,34
1983	0,060	0,107	43,91	0,090	0,162	44,42	0,070	0,140	50,06
1984	0,090	0,099	8,69	0,140	0,147	4,58	0,103	0,114	10,18
1985	0,138	0,139	1,02	0,193	0,277	30,59	0,433	0,561	22,93
1986	0,050	0,059	14,71	0,123	0,123	0,27	0,058	0,062	7,36
1987	0,103	0,110	7,12	0,140	0,163	14,13	0,105	0,138	24,05
1988	0,047	0,056	16,28	0,040	0,044	9,03	0,085	0,088	3,65
1989	0,060	0,061	1,49	0,063	0,068	6,22	0,051	0,067	23,05
1990	0,075	0,084	10,75	0,098	0,097	-0,81	0,105	0,098	-7,12
1991	0,085	0,076	-12,14	0,065	0,060	-9,08	0,105	0,094	-12,00
1992	0,028	0,030	7,43	0,040	0,039	-2,02	0,055	0,066	16,46
1993	0,050	0,084	40,36	0,033	0,037	12,32	0,044	0,044	-0,78
1994	0,100	0,149	32,92	0,068	0,075	9,62	0,098	0,109	10,67
1995	0,017	0,021	20,19	0,023	0,028	15,99	0,030	0,036	17,43
1996	0,018	0,025	29,72	0,018	0,019	9,65	0,030	0,035	14,08
1997	0,073	0,085	14,58	0,023	0,163	86,22	0,030	0,033	10,42
1998	0,167	0,113	-47,36	0,200	0,183	-9,57	0,188	0,163	-15,15
1999	0,010	0,109	90,82	0,020	0,171	88,32	0,020	0,113	82,36
2000	0,195	0,146	-33,55	0,350	0,252	-39,14	0,320	0,371	13,86
2001	0,265	0,396	33,02						
2002	0,278	0,265	-4,73						
2003	0,335	0,343	2,39						
2004	0,428	0,415	-3,13						
2005	0,255	0,259	1,72						
2006	0,315	0,409	23,07						
2007	0,305	0,356	14,30						
2008	0,338	0,393	14,22						
2009	0,415	0,336	-23,34						
среднее многолетнее	0,152	0,166	10,289	0,109	0,129	14,202	0,134	0,160	14,607

Таблица Б.8 – Расчет среднегодовой концентрации фосфора минерального с учетом и без учета особенностей гидрохимической информации

PO ₄ фосфор минеральный										
Год наблюдений	Опонка, верхний створ			Опонка, нижний створ			Остров, верхний створ			Δ, %
	Ca, мг/л	Свнз, мг/л	Δ, %	Ca, мг/л	Свнз, мг/л	Δ, %	Ca, мг/л	Свнз, мг/л	Δ, %	
1978	0,0030	0,0006	-372,06	0,0065	0,0037	-76,06	0,0040	0,0015	-163,25	
1979	0,0083	0,0068	-20,78	0,0098	0,0088	-10,44	0,0000	0,0013	100,00	
1980	0,0138	0,0221	37,75	0,0298	0,0158	-88,40	0,0070	0,0131	46,70	
1981	0,0100	0,0118	15,24	0,0490	0,0386	-26,85	0,0077	0,0102	24,89	
1982	0,0065	0,0088	26,43	0,0140	0,0124	-12,81	0,0103	0,0153	32,94	
1983	0,0257	0,0232	-10,68	0,0050	0,0049	-2,91	0,0000	0,0000	0,00	
1984	0,0027	0,0059	54,76	0,0187	0,0308	39,49	0,0015	0,0006	-156,39	
1985	0,0150	0,0175	14,29	0,0300	0,0266	-12,97	0,0125	0,0154	18,68	
1986	0,0000	0,0000	0,00	0,0070	0,0040	-75,61	0,0000	0,0003	100,00	
1987	0,0000	0,0004	100,00	0,0337	0,0226	-49,15	0,0043	0,0083	49,03	
1988	0,0040	0,0047	15,00	0,0105	0,0159	34,10	0,0175	0,0112	-56,85	
1989	0,0000	0,0003	100,00	0,0498	0,0448	-11,17	0,0098	0,0101	3,65	
1990	0,0030	0,0029	-2,94	0,0340	0,0327	-4,11	0,0110	0,0103	-6,80	
1991	0,0030	0,0165	81,81	0,0040	0,0087	54,24	0,0030	0,0144	79,18	
1992	0,0238	0,0222	-6,93	0,0153	0,0145	-4,87	0,0173	0,0155	-11,37	
1993	0,0030	0,0030	0,00	0,0353	0,0325	-8,58	0,0240	0,0222	-8,18	
1994	0,0030	0,0030	0,00	0,0565	0,0864	34,59	0,0143	0,0142	-0,69	
1995	0,0030	0,0030	0,00	0,0047	0,0043	-9,31	0,0030	0,0036	16,61	
1996	0,0030	0,0030	0,00	0,0540	0,0469	-15,18	0,0088	0,0132	33,85	
1997	0,0040	0,0043	7,31	0,0030	0,0053	43,41	0,0130	0,0114	-14,27	
1998	0,0030	0,0033	9,09	0,0030	0,0030	0,00	0,0260	0,0140	-86,23	
1999	0,0150	0,0104	-43,64	0,0050	0,0048	-5,24	0,0075	0,0317	76,32	
2000	0,0430	0,0183	-135,21	0,0250	0,0121	-106,54	0,0100	0,0159	36,93	
2001	0,0093	0,0098	5,67	0,0255	0,0255	0,00	0,0075	0,0075	0,12	
2002	0,0050	0,0052	4,09	0,0078	0,0114	32,29	0,0063	0,0067	7,11	
2003	0,0100	0,0095	-4,81	0,0100	0,0090	-11,53	0,0125	0,0115	-8,57	
2004	0,0078	0,0061	-26,12	0,0078	0,0071	-8,97	0,0165	0,0114	-45,23	
2005	0,0040	0,0035	-14,70	0,0043	0,0047	8,79	0,0100	0,0086	-16,71	
2006	0,0045	0,0044	-3,15	0,0080	0,0075	-6,34	0,0120	0,0139	13,77	
2007	0,0038	0,0037	-1,13	0,0080	0,0080	0,00	0,0075	0,0076	1,55	
2008	0,0038	0,0046	18,10	0,0013	0,0013	0,00	0,0088	0,0114	23,24	
2009	0,0093	0,0034	-172,82	0,0100	0,0048	-110,26	0,0200	0,0104	-91,86	
среднее многолетнее	0,0079	0,0076	-10,3442	0,0183	0,0175	-12,8523	0,0098	0,0107	-0,0576	

Таблица Б.8 (продолжение)

PO ₄ фосфор минеральный											
Год наблюдений	Остров, нижний створ			Псков верхний створ			Псков, нижний створ				
	Ca, мг/л	Свнз, мг/л	Δ, %	Ca, мг/л	Свнз, мг/л	Δ, %	Ca, мг/л	Свнз, мг/л	Δ, %		
1978	0,0160	0,0190	15,58	0,0050	0,0073	31,37	0,0190	0,0064	-198,64		
1979	0,0370	0,0302	-22,37	0,0240	0,0320	24,96	0,0115	0,0066	-75,13		
1980	0,0140	0,0125	-12,05	0,0373	0,0410	8,86	0,0160	0,0077	-107,86		
1981	0,0253	0,0222	-14,03	0,0090	0,0156	42,13	0,0255	0,0209	-22,14		
1982	0,0250	0,0309	19,08	0,0377	0,0223	-69,22	0,0077	0,0077	0,22		
1983	0,0163	0,0186	12,41	0,0000	0,0007	100,00	0,0138	0,0210	34,68		
1984	0,0040	0,0074	45,98	0,0100	0,0739	86,47	0,0188	0,0172	-8,71		
1985	0,0230	0,0215	-6,79	0,0050	0,0110	54,36	0,0083	0,0093	11,41		
1986	0,0095	0,0094	-0,62	0,0105	0,0184	43,01	0,0180	0,0261	31,15		
1987	0,0160	0,0105	-51,66	0,0223	0,0228	2,38	0,0425	0,0400	-6,34		
1988	0,0033	0,0064	47,76	0,0058	0,0053	-8,21	0,0373	0,0257	-45,43		
1989	0,0135	0,0151	10,84	0,0203	0,0167	-21,37	0,0135	0,0139	3,19		
1990	0,0118	0,0112	-4,74	0,0030	0,0290	89,66	0,0105	0,0066	-60,14		
1991	0,0030	0,0031	3,68	0,0057	0,0052	-9,90	0,0038	0,0034	-9,41		
1992	0,0065	0,0064	-1,55	0,0123	0,0133	8,23	0,0146	0,0111	-31,12		
1993	0,0178	0,0130	-36,80	0,0125	0,0157	20,60	0,0158	0,0153	-3,08		
1994	0,0203	0,0195	-3,60	0,0053	0,0046	-14,02	0,0088	0,0088	0,69		
1995	0,0123	0,0110	-11,17	0,0053	0,0055	4,12	0,0245	0,0222	-10,60		
1996	0,0058	0,0080	28,34	0,0093	0,0082	-12,74	0,0058	0,0092	37,75		
1997	0,0155	0,0169	8,33	0,0138	0,0461	69,96	0,0300	0,0207	-45,17		
1998	0,0080	0,0063	-26,41	0,0055	0,0149	63,16	0,0245	0,0275	10,81		
1999	0,0145	0,0152	4,60	0,0050	0,0065	23,31	0,0050	0,0238	78,96		
2000	0,0090	0,0121	25,75								
2001	0,0080	0,0049	-62,22								
2002	0,0063	0,0077	19,25								
2003	0,0225	0,0165	-36,43								
2004	0,0163	0,0106	-53,87								
2005	0,0083	0,0086	3,47								
2006	0,0233	0,0199	-17,53								
2007	0,0088	0,0087	-0,66								
2008	0,0125	0,0146	14,43								
2009	0,0138	0,0072	-91,68								
среднее многолетнее	0,0140	0,0133	-6,0834	0,0120	0,0189	24,4153	0,0170	0,0160	-18,8588		

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Приращения среднегодовых значений объемов стока между створами наблюдений при оценке среднегодовой концентрации с учетом и без учета гидрохимической информации.

Здесь:

$\Delta W_{\text{Исток-Опочка}}$ – приращение объема стока между истоком реки и верхним створом города Опочка,

$\Delta W_{\text{Опочка}}$ – приращение между верхним и нижним створами города Опочка,

$\Delta W_{\text{Опочка-Остров}}$ – приращение между нижним створом города Опочка и верхним створом города Остров,

$\Delta W_{\text{Остров}}$ – приращение между верхним и нижним створами города Остров,

$\Delta W_{\text{Остров-Псков}}$ – приращение между нижним створом города Остров и верхним створом города Псков,

$\Delta W_{\text{Псков}}$ – приращение между верхним и нижним створом города Псков;

« C_a » - значение средних годовых концентраций, рассчитанное по общепринятой методике;

« $C_{внэ}$ » - значение средних годовых концентраций, рассчитанное по комплексной методике.

Таблица В.1 - Приращение среднегодовых объемов стока растворенного кислорода при оценке среднегодовой концентрации с учетом и без учета особенностей гидрохимической информации

год	$\Delta W_{\text{Исток-Опочка}}$		$\Delta W_{\text{Опочка}}$		$\Delta W_{\text{Опочка-Остров}}$	
	по Са	по Свнэ	по Са	по Свнэ	по Са	по Свнэ
1969	7390	7818	-274	-194	12938	12429
1970	6837	7634	-136	35	12503	11534
1971	4696	4572	406	96	16481	16916
1972	4943	5144	-109	-148	12134	11973
1973	5388	5646	-212	-267	12423	12220
1974	6870	6351	-330	-160	19014	19364
1975	6314	6006	-987	-676	21847	21845
1976	5565	6228	-1062	-1446	15949	15671
1977	6250	6223	-826	-800	18469	18470
1978	13160	13058	-604	-719	33023	33239
1979	9820	10329	-283	-394	16068	15671
1980	10375	9989	-253	-38	18957	19129
1981	10437	8236	-671	1757	24167	23940
1982	10218	9971	-488	-301	22239	22300
1983	10402	11315	-620	-794	26425	25686
1984	9583	9573	-626	-664	12784	12832
1985	13886	13923	-380	-415	19360	19358
1986	13491	13719	-669	-797	18720	18620
1987	14857	15292	-642	-642	27204	26769
1988	11031	11142	-652	-621	19062	18919
1989	13540	13281	-800	-659	24648	24766
1990	18485	18639	-686	-808	52889	52621
1991	13451	13911	-609	-695	37236	40464
1992	12210	12135	-797	-777	32312	33776
1993	10823	11117	-442	-410	20385	20083
1994	14338	14060	-546	-434	46713	48082
1995	15740	16905	-1138	-968	29053	26892
1996	12541	13933	-1451	-1766	17399	17461
1997	15139	14360	-360	-631	24253	26635
1998	14226	14179	78	117	32090	30138
1999	11732	13357	33	-486	37359	38119
2000	10160	9783	-394	-228	19915	29832
2001	8278	8259	-339	-174	22291	23292
2002	8250	8717	674	404	5626	6055
2003	7983	8041	135	386	22415	21962
2004	8830	8836	330	1437	28345	28671
2005	10048	10111	-19	-789	26771	28576
2006	7539	7754	-304	-583	22779	22208
2007	7628	7853	909	-27	7473	8670
2008	8449	8496	-15	6	11621	11586
2009	9584	6584	-77	1351	24672	20018
среднее	10256	10304	-372	-315	22586	22849

Таблица В.1 (Продолжение)

год	$\Delta W_{\text{Остров}}$		$\Delta W_{\text{Остров-Псков}}$		$\Delta W_{\text{Псков}}$	
	по Са	по Свнэ	по Са	по Свнэ	по Са	по Свнэ
1969	-43	-43	7521	7521	-6008	-6008
1970	-1670	-1670	10016	10016	-4865	-4865
1971	1229	1229	10528	10528	-6071	-6071
1972	-1736	-1736	9669	9669	-6324	-6324
1973	-373	-373	5067	5067	-5553	-5553
1974	-948	-948	9233	9233	-5108	-5108
1975	-250	-250	12634	12634	-7476	-7476
1976	-74	-74	6955	6955	-5200	-5200
1977	-1093	-1093	9802	9802	-7262	-7262
1978	-3505	-3505	24815	24815	-14333	-14333
1979	6201	6201	12748	12748	-7426	-7426
1980	-1096	-1096	15232	15232	-7960	-7960
1981	-79	-79	17291	17291	-8106	-8106
1982	-713	-713	14758	14758	-8095	-8095
1983	-2446	-2446	14131	14131	-10648	-10648
1984	-910	-910	12979	12979	-8425	-8425
1985	-1282	-1282	17698	17698	-12064	-12064
1986	-685	-685	18398	18398	-8209	-8209
1987	-2167	-2167	16483	16483	-11419	-11419
1988	591	591	13081	13081	-7572	-7572
1989	4028	4028	16106	16106	-8578	-8578
1990	904	717	20737	20656	4172	3032
1991	2542	-1113	20801	18690	-3972	-1860
1992	-926	-1604	14655	13172	-1614	-1467
1993	-302	-839	14409	14841	-886	-1185
1994	-1708	1336	-26157	-30784	-1362	-1350
1995	1578	1397	8779	9309	273	323
1996	0	187	11182	9648	348	271
1997	1207	1242	13556	12490	468	146
1998	-897	-456	35147	36093	-1127	-530
1999	-1106	-2104	-2942	-2598	599	335
2000	1836	-11504	10715	5343	43	1179
2001	0	-271	34172	33295	-156	-156
2002	866	1058	36145	35327	1022	1022
2003	1408	963	21728	22318	1113	1113
2004	987	1215	31913	30246	-1104	-1104
2005	1039	1338	16988	15592	-737	-737
2006	563	483	8266	8981	330	330
2007	-1431	-1738	31801	31621	92	92
2008	-371	38	35837	35394	-1417	-1417
2009	414	352	29769	36057	-1493	-1493
среднее	-10	-398	15674	15386	-4198	-4150

Таблица В.2 - Приращение среднегодовых объемов стока азота аммонийного при оценке среднегодовой концентрации с учетом и без учета особенностей гидрохимической информации

год	ΔW _{Исток-Опочка}		ΔW _{Опочка}		ΔW _{Опочка-Остров}	
	по Са	по Свнэ	по Са	по Свнэ	по Са	по Свнэ
1969	182,3	250,4	-28,9	-57,0	549,8	752,6
1970	176,2	132,6	-64,1	-24,1	777,1	533,5
1971	74,3	85,2	39,6	37,4	824,0	956,0
1972	143,0	126,7	-2,6	-6,4	895,4	841,0
1973	90,1	88,0	-7,4	-18,1	347,4	1355,1
1974	208,7	184,6	61,5	57,7	1452,0	1350,0
1975	142,5	159,1	87,1	85,5	817,2	682,4
1976	60,0	40,9	49,2	45,9	246,6	206,5
1977	135,6	142,0	2,2	12,3	462,4	642,7
1978	425,9	491,4	69,1	66,3	1008,3	943,1
1979	246,1	295,0	18,2	-0,7	499,5	324,5
1980	103,8	103,5	-50,8	-58,4	34,4	113,8
1981	167,2	129,1	16,2	11,0	132,0	195,1
1982	14,6	14,1	19,4	9,5	15,2	19,9
1983	20,1	19,8	-10,1	-6,7	34,9	16,9
1984	16,5	16,2	24,7	24,3	4,1	5,5
1985	21,7	21,4	-5,4	-0,8	59,7	50,9
1986	27,7	26,8	7,9	6,0	39,4	37,0
1987	7,3	10,1	94,9	70,1	2164,9	2533,2
1988	20,1	18,2	12,5	19,2	51,8	24,9
1989	0,0	1,9	0,0	0,0	0,0	3,3
1990	17,2	16,7	-17,2	0,0	72,3	53,2
1991	12,2	12,0	-12,2	0,0	50,8	38,1
1992	11,4	11,2	-11,4	0,0	41,2	29,4
1993	13,9	14,5	-13,9	-4,2	30,2	19,5
1994	13,7	13,5	-13,7	0,0	56,9	42,5
1995	14,2	14,0	-14,2	0,0	42,1	27,2
1996	11,2	11,0	217,7	67,6	-163,1	-27,2
1997	12,0	11,9	18,0	4,8	10,2	22,9
1998	15,5	15,3	0,0	0,0	52,8	43,2
1999	13,2	13,0	0,0	0,0	42,1	68,4
2000	10,5	38,4	0,0	-3,4	598,1	365,5
2001	183,5	116,3	-45,9	-27,6	926,9	1370,7
2002	112,3	140,6	6,1	10,5	112,6	166,5
2003	26,9	23,3	25,0	28,1	66,6	47,6
2004	41,9	48,4	-7,1	-9,4	66,7	44,0
2005	58,9	58,1	-5,2	-3,8	152,1	126,5
2006	33,6	30,0	2,4	2,2	48,4	31,3
2007	24,9	27,8	6,3	2,8	9,9	2,1
2008	39,6	31,5	-6,5	-4,5	129,3	60,9
2009	4,4	3,4	-0,3	-1,4	7,0	3,7
среднее	72,1	73,4	11,3	8,2	311,4	344,5

Таблица В.2 (Продолжение)

год	ΔWОстров		ΔWОстров-Псков		ΔWПсков	
	по Са	по Свнэ	по Са	по Свнэ	по Са	по Свнэ
1969	-72,3	-62,0	284,3	354,0	262,5	-64,8
1970	-182,4	-82,9	1539,8	1000,6	-388,1	469,8
1971	65,9	-127,5	794,5	1145,6	-192,9	-239,1
1972	-335,1	-250,8	281,1	1121,3	156,5	-665,4
1973	114,0	-800,5	380,2	389,5	232,9	174,5
1974	418,9	292,9	-188,5	275,7	784,8	56,3
1975	127,1	347,6	173,3	149,0	689,6	562,1
1976	106,3	128,9	98,9	232,0	386,8	287,4
1977	466,0	223,4	1086,3	1380,7	188,1	125,3
1978	615,0	301,1	4666,2	3889,7	-95,6	-446,8
1979	0,0	60,1	880,0	1493,0	-346,1	-220,7
1980	38,1	170,3	-66,2	-124,7	444,8	230,2
1981	328,0	374,5	259,2	130,6	-739,6	-688,8
1982	16,4	25,7	11,1	-15,5	-12,8	-6,9
1983	45,0	51,1	-5,3	-13,4	50,8	6,8
1984	-5,7	26,3	44,1	-0,4	0,0	6,6
1985	202,5	82,9	-150,0	-41,8	-12,8	-24,2
1986	18,8	16,2	18,1	13,8	28,0	25,4
1987	-2229,8	-2572,6	549,7	787,0	-587,0	-790,9
1988	-28,1	-19,1	59,7	60,9	-23,2	-37,4
1989	0,0	-0,6	0,0	2,6	20,2	28,5
1990	0,0	0,0	51,3	69,7	-30,9	-16,7
1991	0,0	0,0	21,4	21,1	0,0	-14,7
1992	0,0	0,0	11,2	68,5	0,0	-40,3
1993	0,0	0,0	14,3	17,5	0,0	3,1
1994	0,0	0,0	-22,9	-8,9	17,0	11,6
1995	0,0	0,0	12,5	7,2	0,0	28,7
1996	-21,9	-15,8	30,7	114,4	244,8	1404,9
1997	20,1	13,8	122,1	218,4	-126,3	-192,5
1998	0,0	2,1	100,7	86,3	0,0	7,8
1999	83,0	37,2	-46,2	-28,1	23,0	3,2
2000	-176,2	-178,3	740,7	626,6	-391,0	-286,4
2001	154,4	-53,4	1278,0	1090,9	383,5	383,5
2002	32,5	25,5	1061,3	981,7	-208,5	-208,5
2003	148,2	72,2	-147,0	-51,4	599,2	599,2
2004	-27,7	-8,3	147,5	146,6	334,1	334,1
2005	1396,6	1433,7	-1410,0	-1421,9	801,1	801,1
2006	138,6	141,2	-95,7	-77,3	374,2	374,2
2007	30,4	28,6	34,1	44,2	415,7	415,7
2008	-46,7	4,5	84,9	108,2	467,9	467,9
2009	33,6	33,9	62,3	67,5	335,5	335,5
среднее	35,9	-6,8	311,4	349,1	99,7	78,0

Таблица В.3 - Приращение среднегодовых объемов стока азота нитритного при оценке среднегодовой концентрации с учетом и без учета особенностей гидрохимической информации

год	$\Delta W_{\text{Исток-Опочка}}$		$\Delta W_{\text{Опочка}}$		$\Delta W_{\text{Опочка-Остров}}$	
	по Са	по Свнэ	по Са	по Свнэ	по Са	по Свнэ
1969	0,00	0,12	0,00	0,00	4,82	9,14
1970	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,22
1971	0,37	0,51	14,73	13,21	10,25	44,37
1972	0,00	0,04	0,00	8,07	0,00	18,77
1973	0,00	0,27	49,67	27,43	-34,12	23,14
1974	4,39	3,03	-2,20	4,62	21,08	14,30
1975	0,00	0,34	3,96	2,95	2,29	3,23
1976	1,54	2,31	1,54	1,63	6,17	12,03
1977	3,28	3,33	3,28	2,85	0,62	0,70
1978	12,28	9,76	32,33	15,43	-7,71	6,16
1979	5,24	5,79	14,58	7,07	-0,73	8,33
1980	2,65	2,96	2,43	4,30	11,06	7,65
1981	6,74	4,46	41,79	38,44	-43,02	-35,46
1982	6,56	10,67	31,08	26,97	-31,90	-33,33
1983	0,00	0,94	0,00	0,09	12,37	19,05
1984	5,49	5,01	52,40	116,76	-53,93	-115,11
1985	0,00	0,52	0,00	3,19	6,75	-0,95
1986	0,00	0,00	0,00	0,00	30,02	37,10
1987	0,00	0,00	29,20	22,30	0,69	12,13
1988	0,00	0,00	10,03	15,35	-10,03	-15,35
1989	0,00	0,65	0,00	0,00	0,00	1,09
1990	6,43	8,33	38,60	40,19	-8,88	-13,57
1991	6,09	6,00	0,00	0,00	19,33	19,07
1992	5,69	5,60	0,00	0,00	14,88	14,70
1993	5,20	5,13	0,00	0,00	9,88	9,74
1994	6,83	6,73	0,00	0,00	21,65	21,27
1995	7,11	7,01	0,00	0,00	13,93	13,62
1996	5,58	5,51	0,00	0,00	12,68	10,15
1997	6,01	5,93	4,21	1,11	15,94	19,07
1998	7,77	7,67	0,00	0,00	17,86	18,49
1999	6,59	6,50	0,00	0,00	21,07	20,78
2000	5,25	5,18	0,00	0,00	10,76	10,62
2001	3,99	3,93	4,99	5,05	7,28	7,05
2002	4,08	4,03	0,00	0,82	3,14	2,27
2003	3,85	3,65	0,00	0,00	10,97	10,45
2004	1,26	1,11	-1,26	-0,79	0,00	0,83
2005	1,90	2,49	-0,54	-1,35	10,19	11,44
2006	3,04	3,42	0,41	-0,75	6,93	12,05
2007	0,63	0,48	-0,42	0,15	0,22	0,58
2008	1,00	0,76	-1,00	-0,76	2,40	1,57
2009	0,30	0,24	0,00	-0,16	0,82	0,20
среднее	3,35	3,42	8,04	8,64	2,82	5,06

Таблица В.3 (Продолжение)

год	$\Delta W_{\text{Остров}}$		$\Delta W_{\text{Остров-Псков}}$		$\Delta W_{\text{Псков}}$	
	по Са	по Свнэ	по Са	по Свнэ	по Са	по Свнэ
1969	4,83	3,27	-2,55	0,90	14,19	8,73
1970	0,00	-0,23	0,00	0,00	43,73	37,92
1971	-5,05	-50,29	10,58	4,08	30,87	16,64
1972	0,00	-15,24	0,00	7,93	0,00	-19,56
1973	0,01	-25,24	28,11	15,09	69,87	68,07
1974	52,43	46,81	-50,17	-42,97	-9,58	29,82
1975	31,25	29,29	-13,95	-23,28	241,36	165,91
1976	9,26	5,91	-12,05	-17,83	19,34	21,39
1977	25,16	10,09	-21,89	-7,48	10,45	14,65
1978	88,93	105,07	-65,31	-107,12	47,78	76,82
1979	13,67	38,54	6,17	-31,67	12,98	31,23
1980	2,71	3,58	-6,98	13,82	0,00	-20,05
1981	-5,52	-4,61	161,71	133,06	-149,17	-115,43
1982	-5,74	-2,67	67,74	114,49	-19,17	-74,49
1983	13,52	9,86	-14,04	18,87	44,01	29,72
1984	-3,96	-0,24	104,61	63,86	175,74	145,97
1985	28,71	11,75	-12,36	-5,81	0,00	1,18
1986	-21,57	-28,26	-8,45	-6,73	0,00	-2,10
1987	-29,90	-30,62	72,52	67,67	-72,52	-71,48
1988	7,88	10,09	-7,88	-9,36	0,00	-0,73
1989	0,00	0,00	0,00	-1,74	0,00	5,22
1990	0,03	0,03	10,17	9,36	0,00	0,00
1991	0,02	0,02	10,67	10,52	0,00	0,00
1992	14,43	14,60	-8,83	-9,08	0,00	0,00
1993	0,01	1,08	7,14	5,98	7,11	11,60
1994	2,87	1,34	-14,32	-12,54	1,70	1,39
1995	0,02	0,02	6,22	6,18	0,00	0,00
1996	-3,64	0,79	6,66	4,55	0,00	0,00
1997	33,25	29,91	24,80	23,26	-26,66	-27,45
1998	0,02	0,17	16,60	36,19	0,00	-10,84
1999	24,94	13,10	-29,58	-17,68	0,00	0,08
2000	0,01	1,51	7,43	-1,29	0,00	0,57
2001	0,01	0,01	14,95	15,17	17,83	17,83
2002	0,01	0,01	17,31	17,41	72,37	72,37
2003	4,46	6,66	14,96	13,49	19,26	19,26
2004	0,00	0,17	17,99	16,68	29,99	29,99
2005	-0,95	-1,19	-7,86	-8,65	34,57	34,57
2006	4,46	3,21	-6,58	-9,68	34,99	34,99
2007	0,00	-0,30	0,57	0,10	49,70	49,70
2008	3,60	7,29	-4,39	-7,25	56,68	56,68
2009	0,00	0,00	18,35	19,19	3,89	3,89
среднее	7,08	4,76	8,25	7,26	18,57	15,71

Таблица В.4 - Приращение среднегодовых объемов стока азота нитратного при оценке среднегодовой концентрации с учетом и без учета особенностей гидрохимической информации

год	ΔW _{Исток-Опочка}		ΔW _{Опочка}		ΔW _{Опочка-Остров}	
	по Са	по Свнэ	по Са	по Свнэ	по Са	по Свнэ
1969	33,7	56,3	33,7	89,6	151,0	484,4
1970	36,0	23,2	8,0	4,4	315,1	199,9
1971	183,2	164,3	125,4	47,4	1009,4	721,6
1972						
1973						
1974						
1975						
1976						
1977						
1978	382,7	400,5	77,7	66,8	1671,4	1088,4
1979	280,3	328,9	-43,3	-28,8	-182,4	-23,3
1980	285,5	358,4	-64,8	-70,7	835,1	915,1
1981	386,9	252,9	-39,9	82,5	670,0	789,5
1982	369,1	456,1	41,3	42,1	1327,9	2038,1
1983	130,8	129,1	-40,2	109,7	415,6	734,2
1984	455,4	495,0	181,1	363,2	171,8	132,3
1985	732,3	810,4	325,5	273,4	882,5	1672,2
1986	229,9	197,1	158,5	220,9	484,1	464,5
1987	485,5	566,7	-14,6	14,6	1609,4	1349,8
1988	284,1	264,0	73,5	72,8	1312,6	1639,4
1989	678,6	668,0	-70,4	-100,1	1034,0	1168,6
1990	763,4	769,7	8,6	41,2	1560,2	1573,6
1991	389,5	347,1	-73,0	-189,2	1488,3	1167,2
1992	167,9	189,1	125,2	124,7	1126,6	1223,9
1993	752,8	649,1	-249,8	-113,3	874,4	1379,9
1994	327,7	374,4	587,2	925,3	380,6	224,1
1995	104,3	95,4	47,4	45,0	205,9	363,4
1996	429,8	286,6	106,1	194,3	793,6	999,4
1997	540,7	426,3	540,7	212,3	296,8	988,6
1998	108,8	194,9	15,5	39,2	371,2	169,0
1999	33,0	63,5	19,8	15,1	417,5	475,6
2000	68,3	77,4	5,3	-11,3	567,1	1901,0
2001	177,5	224,7	117,7	132,2	192,4	-181,6
2002	318,5	326,9	14,3	27,7	288,1	331,7
2003	363,6	386,6	0,0	3,1	1667,0	2017,2
2004	262,4	282,5	55,5	54,0	816,7	959,2
2005	381,9	439,4	26,3	19,7	768,2	842,0
2006	495,6	618,5	-50,0	-52,5	954,4	1183,2
2007	175,8	192,0	3,0	5,1	342,0	323,4
2008	196,8	209,1	168,0	221,0	221,8	152,9
2009	271,5	254,0	-9,2	35,5	1193,0	1127,5
среднее	322,4	330,8	63,1	83,3	749,5	874,2

Таблица В.4 (Продолжение)

год	ΔWОстров		ΔWОстров-Псков		ΔWПсков	
	по Са	по Свнэ	по Са	по Свнэ	по Са	по Свнэ
1969	0,0	-112,5	-29,2	95,7	217,6	-309,8
1970	-39,9	1117,9	238,3	-1005,8	-251,4	96,2
1971	111,5	262,8	947,4	1285,7	411,6	286,2
1972						
1973						
1974						
1975						
1976						
1977						
1978	-276,7	154,2	5279,6	3703,9	541,5	682,3
1979	327,3	146,7	223,7	1334,0	475,8	252,0
1980	351,9	696,5	1409,3	1633,0	-800,6	-885,4
1981	574,0	613,6	1295,9	1559,0	-738,3	-811,2
1982	270,6	106,2	560,3	831,2	1316,5	1687,3
1983	123,7	-113,2	419,7	686,2	338,6	604,5
1984	260,0	289,1	421,3	553,9	769,9	997,0
1985	539,9	942,6	997,8	581,3	423,5	1278,7
1986	506,6	392,2	621,8	1006,7	377,8	123,1
1987	-274,0	-191,6	6826,8	3821,9	-3867,6	-1116,8
1988	-50,6	152,4	582,3	160,0	1506,6	1464,0
1989	-265,1	-445,1	2397,2	1734,6	9344,7	6775,5
1990	795,5	1273,2	1902,2	1614,1	1390,7	1401,4
1991	533,8	877,4	1525,0	588,9	-36,1	-356,7
1992	0,0	242,9	482,3	162,2	1238,9	1051,5
1993	-754,1	-965,5	2644,9	2621,4	-591,4	-1701,4
1994	256,3	-440,4	-913,2	-501,1	366,1	232,5
1995	326,1	231,4	-110,9	-152,9	-122,8	-119,8
1996	-277,6	-321,6	172,1	230,0	-276,7	-303,4
1997	261,6	-715,8	1040,7	1901,2	-224,5	-94,1
1998	-51,3	-2,5	175,5	446,1	225,4	122,2
1999	27,7	195,2	-382,8	-584,8	161,1	126,2
2000	112,1	-1208,0	-9,7	-207,1	-117,3	-177,3
2001	-113,8	820,1	1079,8	458,2	187,3	187,3
2002	90,3	117,5	1361,9	1269,3	-490,7	-490,7
2003	807,8	1118,5	1766,7	1079,7	-1061,4	-1061,4
2004	101,5	202,8	1337,1	1074,7	-90,0	-90,0
2005	19,2	59,5	95,4	-69,6	1391,0	1391,0
2006	341,6	502,9	826,8	316,2	-257,1	-257,1
2007	-6,5	-13,2	968,1	975,0	1490,7	1490,7
2008	24,6	60,4	1506,5	1474,4	3759,4	3759,4
2009	324,7	235,1	1043,1	1171,1	596,4	596,4
среднее	142,2	179,5	1105,8	910,0	503,0	480,9

Таблица В.5 - Приращение среднегодовых объемов стока фосфора минерального при оценке среднегодовой концентрации с учетом и без учета особенностей гидрохимической информации

год	$\Delta W_{\text{Исток-Опочка}}$		$\Delta W_{\text{Опочка}}$		$\Delta W_{\text{Опочка-Остров}}$	
	по Са	по Свнэ	по Са	по Свнэ	по Са	по Свнэ
1978	3,45	0,73	4,03	3,52	8,92	1,98
1979	7,52	6,23	1,37	1,82	-8,89	-4,49
1980	12,14	19,50	14,13	-5,56	-7,44	21,38
1981	10,79	12,72	42,06	28,94	-28,67	-9,47
1982	6,31	8,58	7,28	3,47	20,02	38,07
1983	25,82	23,33	-20,79	-18,44	-5,03	-4,89
1984	2,19	4,85	13,17	20,54	-11,97	-24,07
1985	16,27	18,98	16,27	9,82	9,63	23,06
1986	0,00	0,00	8,32	4,74	-8,32	-3,70
1987	0,00	0,56	49,16	32,40	-27,98	8,59
1988	4,01	4,72	6,52	11,26	48,52	21,67
1989	0,00	0,39	63,70	56,91	-23,42	-15,49
1990	5,15	5,00	53,18	51,03	21,22	18,45
1991	3,65	20,08	1,22	-9,44	10,38	62,61
1992	27,04	25,29	-9,68	-8,73	53,63	47,18
1993	3,12	3,08	33,65	30,79	35,62	33,05
1994	4,10	4,04	73,05	113,91	4,00	-37,36
1995	4,27	4,21	2,37	1,86	5,99	9,07
1996	3,35	3,30	56,94	49,04	-34,72	-13,69
1997	4,81	5,19	-1,20	1,18	48,71	39,41
1998	4,66	5,13	0,00	-0,53	128,62	66,97
1999	19,77	13,77	-13,18	-7,50	34,90	168,98
2000	45,16	19,20	-18,90	-6,49	5,78	38,07
2001	7,38	7,82	12,97	12,54	4,03	4,05
2002	4,08	4,26	2,25	5,09	2,70	0,37
2003	7,69	7,34	0,00	-0,44	29,36	27,23
2004	7,82	6,20	0,00	0,98	53,06	34,74
2005	4,34	3,78	0,27	1,27	33,86	27,91
2006	3,65	3,54	2,84	2,56	29,09	35,15
2007	3,17	3,13	3,59	3,59	6,25	6,49
2008	3,76	4,59	-2,51	-3,33	19,72	26,05
2009	10,97	4,02	0,89	1,62	77,70	41,04
среднее	8,33	7,92	12,59	12,14	16,73	21,51

Таблица В.5 (Продолжение)

год	$\Delta W_{\text{Остров}}$		$\Delta W_{\text{Остров-Псков}}$		$\Delta W_{\text{Псков}}$	
	по Са	по Свнэ	по Са	по Свнэ	по Са	по Свнэ
1978	49,20	71,47				
1979	100,93	78,93	-79,30	-50,97	60,56	-4,00
1980	18,83	-1,72	57,23	92,84	-49,42	-100,49
1981	55,71	37,87	107,31	135,34	-106,97	-166,81
1982	48,38	51,19	-35,98	-21,81	84,36	27,22
1983	55,11	62,93	136,18	50,12	-152,36	-74,02
1984	5,65	15,42	-9,04	-14,30	46,03	68,02
1985	35,43	20,81	-26,27	306,78	44,92	-290,91
1986	35,65	34,39	-7,67	25,89	18,19	-9,20
1987	58,55	11,02	-7,21	74,68	51,80	53,32
1988	-47,80	-16,12	91,90	84,14	93,87	79,62
1989	15,49	20,75	-20,96	-30,38	191,23	123,26
1990	5,42	6,65	102,78	73,57	-62,58	-25,41
1991	0,00	-57,41	6,41	193,60	54,16	-162,08
1992	-44,24	-37,40	2,92	0,65	-10,03	-9,05
1993	-18,85	-27,78	0,93	20,22	10,45	-9,84
1994	34,17	30,72	-72,74	-57,69	11,07	-1,58
1995	38,92	31,23	-22,90	-21,25	19,10	22,95
1996	-8,77	-15,20	5,55	-0,13	81,95	71,00
1997	10,06	22,26	-10,45	-21,98	-19,65	5,79
1998	-92,27	-39,12	76,02	357,16	136,52	-214,95
1999	38,72	-91,16	-54,89	-15,35	87,48	57,74
2000	-3,20	-11,96	-9,27	-13,33	0,00	67,45
2001	1,63	-8,38	20,81	30,79	53,93	53,93
2002	0,00	1,46	21,64	19,49	40,48	40,48
2003	29,64	14,76	438,32	456,13	-226,83	-226,83
2004	-0,92	-2,95	69,60	90,59	59,98	59,98
2005	-6,41	0,25	17,07	15,92	127,37	127,37
2006	33,60	17,60	231,53	241,85	-36,56	-36,56
2007	2,17	1,86	33,10	33,20	159,99	159,99
2008	8,99	7,69	10,15	5,10	133,69	133,69
2009	-27,99	-14,56	35,78	65,23	73,99	73,99
среднее	13,49	6,73	35,76	68,58	31,51	-3,42

Таблица В.6 - Приращение среднегодовых объемов стока железа общего при оценке среднегодовой концентрации с учетом и без учета особенностей гидрохимической информации

год	$\Delta W_{\text{Исток-Опочка}}$		$\Delta W_{\text{Опочка}}$		$\Delta W_{\text{Опочка-Остров}}$	
	по Са	по Свнэ	по Са	по Свнэ	по Са	по Свнэ
1969	54,2	50,5	-44,5	-1,9	168,6	139,2
1970	64,1	45,1	12,0	5,3	163,3	131,8
1971	66,8	35,8	-27,2	-10,0	318,6	199,9
1972	0,0	4,3	5,3	3,5	116,6	258,0
1973	9,2	13,5	-1,8	-2,9	137,7	465,2
1974	65,9	56,8	-57,1	18,8	561,4	465,1
1975	31,7	35,7	-21,1	1,0	282,9	259,1
1976	50,7	55,3	-42,5	16,1	195,1	134,2
1977	96,8	95,5	-88,0	-9,9	255,1	134,8
1978	244,6	240,7	-229,3	-38,5	845,6	467,9
1979	86,6	63,4	-74,4	0,8	97,0	75,4
1980	53,0	56,3	-41,2	-15,7	373,8	272,6
1981	53,9	29,6	-39,5	55,9	506,0	472,1
1982	26,7	18,5	-13,8	1,4	306,8	332,7
1983	33,5	34,9	-13,4	-9,2	362,3	645,0
1984	43,9	42,1	-32,9	8,5	164,3	130,2
1985	54,2	50,2	5,4	1,9	421,2	465,5
1986	15,9	32,0	10,1	-17,3	218,0	252,5
1987	53,5	42,9	-34,1	4,4	690,6	657,7
1988	20,1	19,5	-6,7	8,5	206,0	187,2
1989	35,2	39,2	-18,1	-7,9	354,7	314,2
1990	85,8	90,1	-62,9	-11,6	664,1	592,8
1991	48,7	44,6	-32,5	-10,2	288,8	301,1
1992	19,9	18,8	-4,7	-0,2	118,6	110,7
1993	10,4	11,6	3,5	10,8	167,1	179,7
1994	27,3	24,9	-9,1	-9,4	494,3	752,4
1995	14,2	14,0	4,7	8,5	79,2	82,2
1996	11,2	11,0	3,7	6,7	36,2	57,5
1997	42,1	34,8	-26,0	3,4	255,6	288,4
1998	31,1	33,3	-10,4	2,7	765,3	574,2
1999	39,5	28,7	-22,0	2,1	37,7	366,3
2000	21,0	40,8	-7,0	28,5	658,6	444,9
2001	71,8	94,2	-61,2	47,7	623,2	1055,9
2002	118,4	125,4	-107,5	65,3	281,5	135,8
2003	121,2	117,6	-110,9	3,8	945,8	902,9
2004	267,4	247,3	-254,0	20,6	1665,4	1364,7
2005	176,3	197,2	-161,8	-0,3	889,7	764,2
2006	152,0	169,7	-141,2	-8,1	960,0	1039,6
2007	152,1	163,6	-140,9	-19,5	504,7	457,2
2008	263,2	284,1	-249,9	-98,8	813,5	776,3
2009	204,5	127,3	-188,7	40,9	1820,2	1339,8
среднее	74,1	71,7	-56,9	2,3	458,9	440,2

Таблица В.6 (Продолжение)

год	$\Delta W_{\text{Остров}}$		$\Delta W_{\text{Остров-Псков}}$		$\Delta W_{\text{Псков}}$	
	по Са	по Свнэ	по Са	по Свнэ	по Са	по Свнэ
1969	-28,9	-44,6	56,4	57,8	2,4	61,3
1970	-22,8	-25,2	177,0	104,0	-76,5	26,5
1971	-40,6	-8,3	196,8	192,4	144,1	47,0
1972	-30,5	-115,6	145,8	76,9	11,9	32,6
1973	-5,2	-274,2	111,2	179,0	-10,9	-244,2
1974	29,1	39,5	161,5	389,5	-37,2	-330,5
1975	37,5	26,5	375,5	476,6	0,0	-92,8
1976	-55,4	-47,3	13,3	40,6	51,6	197,3
1977	-91,5	-29,5	423,3	493,0	386,6	698,5
1978	27,3	174,5	385,8	170,1	254,8	363,0
1979	272,8	208,5	-165,6	36,8	605,6	454,1
1980	-179,3	-36,8	255,0	154,2	145,0	305,3
1981	126,1	103,6	130,7	308,6	664,4	395,4
1982	-41,0	-19,1	858,8	1115,6	-306,8	-467,7
1983	-180,0	-309,7	254,6	461,5	-101,6	-110,6
1984	28,3	42,2	265,1	268,2	-125,5	-109,1
1985	-16,9	-48,8	524,2	955,1	1232,1	1457,2
1986	-56,3	-47,2	498,0	467,5	-363,8	-340,1
1987	-199,3	-155,1	456,2	576,1	-241,7	-171,2
1988	-61,9	-27,1	28,0	15,8	208,6	205,1
1989	-123,9	-93,9	135,6	157,3	-72,7	-5,0
1990	-144,6	-63,6	361,6	289,0	69,5	12,1
1991	127,1	49,8	37,3	45,0	288,9	246,7
1992	-20,6	-7,1	96,2	83,0	78,5	139,4
1993	-30,2	50,9	-6,3	-88,0	51,1	29,3
1994	56,9	80,9	-339,6	-594,5	102,2	117,4
1995	-28,1	-16,8	57,2	63,7	36,4	46,7
1996	0,0	-2,4	23,4	9,7	53,2	66,2
1997	20,1	14,9	-165,4	575,3	42,1	-728,9
1998	68,4	-30,4	835,9	963,0	-105,6	-166,5
1999	0,0	205,3	36,8	186,2	0,0	-266,6
2000	-48,0	-46,5	744,1	516,0	-117,3	469,0
2001	227,5	88,4	1207,5	782,9	124,8	124,8
2002	108,3	56,2	752,3	770,4	73,6	73,6
2003	37,1	-7,0	513,4	489,1	984,4	984,4
2004	-101,5	-103,0	2039,5	2087,4	305,9	305,9
2005	76,9	37,1	656,5	639,4	-122,8	-122,8
2006	-37,1	12,6	339,8	59,7	188,7	188,7
2007	13,0	16,0	567,2	478,9	341,9	341,9
2008	-18,0	-18,6	1597,6	1463,4	16,0	16,0
2009	22,4	-1,2	1724,1	2075,8	233,6	233,6
среднее	-6,9	-9,1	399,2	429,1	122,3	109,3