

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
Санкт-Петербургский государственный университет
Институт наук о Земле
Кафедра гидрологии суши

Каштаненко Виктория Игоревна

Сток растворенных веществ рек Северо-Запада на примере Ленинградской и
Новгородской областей

Выпускная квалификационная работа

Научный руководитель:
к.г.н., доц. Т. М. Потапова

«__» _____ 2016

Заведующий кафедрой:
к.г.н., доц. Г. В. Прякина

«__» _____ 2016

Санкт-Петербург

2016

Содержание

Введение.....	4
Глава 1. Физико-географические условия формирования химического состава вод Северо-Запада России.....	5
Глава 2. Гидрологическая и гидрохимическая изученность бассейна.....	10
2.1. Гидрологическая изученность.....	10
2.2. Гидрохимическая изученность.....	20
Глава 3. Гидрохимическая характеристика рек по данным Северо-Западного Управления Гидрометеорологической Службы.....	23
3.1 Характеристика основных показателей химического состава речных вод в период интенсивного хозяйственного освоения водосборов в сравнении с фоновыми гидрохимическими показателями.....	23
3.1.1. Общая минерализация, рН и ионный состав.....	24
3.1.2. Биогенные элементы, органическое вещество и газовый состав	25
3.2 Сезонная изменчивость речных вод за период 1985 – 1987 гг.....	29
Глава 4. Сток растворенных химических веществ.....	32
4.1. Годовой сток растворенных химических веществ.....	32
4.1.1. Ионный сток.....	33
4.1.2. Сток биогенных элементов.....	34
4.1.3. Сток органического вещества.....	36
4.1.4. Сток загрязняющих веществ.....	38
4.2. Сезонный сток растворенных химических веществ.....	39
4.2.1. Сезонная изменчивость ионного стока.....	39
4.2.2. Сезонный сток биогенных элементов.....	41
4.2.3. Сезонный сток органического вещества.....	44
4.2.4. Сезонный сток загрязняющих веществ.....	45
Глава 5. Оценка изменения качества воды по загрязняющим веществам.....	48
5.1. Основные виды хозяйственного освоения водосборов рек.....	48

5.2. Интегральная оценка степени загрязненности рек по ИЗВ, коэффициенту комплексности и УКИЗВ.....	48
Заключение.....	56
Литература.....	58
Приложение.....	60

Введение

Интенсивное хозяйственное освоение водосборных территорий рек Северо-Запада приводит к ухудшению качества воды рек и их обмелению, что неизбежно отражается на общем экологическом состоянии региона. Пространственно-временной анализ стока химических веществ по материалам мониторинговых наблюдений Росгидромета позволяет наиболее объективно оценить непосредственное загрязнение как самих рек, так и их водосборов. В связи с этим целью моей работы явилась оценка стока различных химических веществ (главных ионов, биогенных элементов, органических и загрязняющих веществ) для ряда рек Ленинградской и Новгородской областей. Анализ литературных материалов указывает на то что, несмотря на имеющиеся опубликованные данные по стоку растворенных веществ рек Северо-Запада, региональная специфика стока с учетом разнообразных природных условий нашего региона в литературе недостаточно освещена, что и определяет актуальность выбранной мной темы.

Основными задачами являлись:

- создание информационной базы гидрологических и гидрохимических данных по материалам Росгидромета и их статистическая обработка;
- установление антропогенно измененного гидрохимического фона за период интенсивного хозяйственного использования рек, находящихся в различных природных условиях;
- гидрохимическая характеристика рек с учетом специфики физико-географических условий;
- расчет модулей стока растворенных веществ и оценка их пространственно-временной изменчивости (внутригодовой и многолетней);
- оценка степени загрязнения на основе расчета интегральных индексов загрязнения вод.

В результате проведенных исследований планировалось получить значения показателей стока растворенных веществ для различных рек нашего региона, которые в дальнейшем могут быть использованы при проектировании различных хозяйственных мероприятий на территории водосборов (строительство мостов и прокладка газопроводов, сбросы сточных вод).

Глава 1. Физико-географические условия формирования химического состава вод рек Северо-Запада России

Физико-географические условия формирования химического состава вод рек Северо-Запада достаточно сильно отличаются для различных частей региона. В настоящей работе были изучены такие реки, как Вуокса и Лососинка; Оять, Паша и Сясь; Оредеж, Вруда и Систа, которые приурочены к бассейну Балтийского моря, а в административном плане расположены на территории Ленинградской, Новгородской областей и республике Карелии.

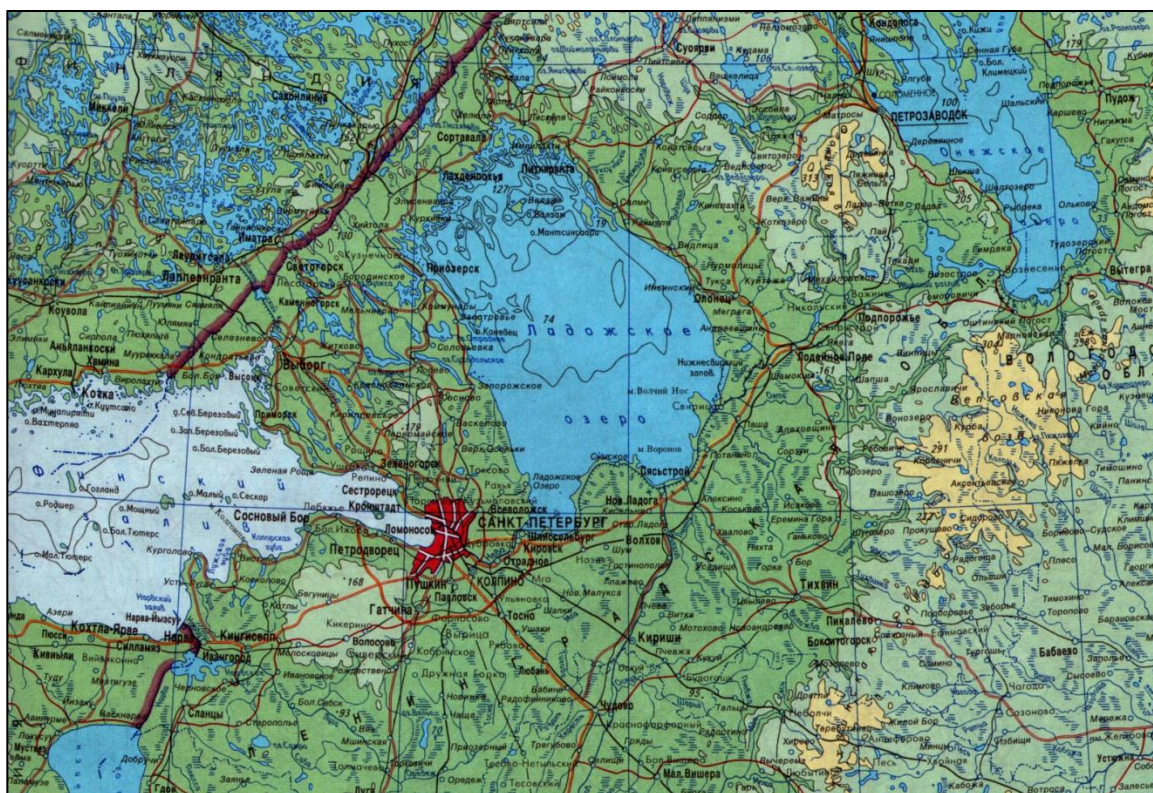


Рис. 1. Карта Северо-Запада и Карелии

Состав и минерализация природных вод в значительной мере зависят от климатических, геоморфологических, почвенно-геологических условий и растительного покрова. В связи с этим целесообразно рассмотреть физико-географические условия формирования химического состава вод рек, находящихся в различных частях рассматриваемого региона (Ресурсы, 1972).

Реки Вуокса и Лососинка расположены на территории Карельского перешейка и республики Карелия имеют весьма близкие физико-географические условия формирования химического состава их вод, которые будут рассмотрены более подробно.

Климатические особенности. Климатические условия играют первостепенную роль,

определяя основные черты водного режима территории и направленность почвообразования. Недостаток солнечного тепла, большое количество осадков в течение года способствуют развитию подзолистых почв на возвышенностях и равнинных частях территории, а в понижениях – торфяно-болотных почв. Их влияние на минерализацию и химический состав воды выражается в обогащении ее большим количеством органических соединений, вследствие чего на заболоченных водосборах формируются воды с очень малой минерализацией, высокой окисляемостью и цветностью.

Карелия и Карельский перешеек относятся к озерному краю: озера в среднем занимают здесь около 10% поверхности. Но не только озера придают своеобразие гидрографии этого района. Большое количество осадков и относительно малое испарение обуславливают здесь общее избыточное увлажнение территории. Огромное количество озер в сочетании с многочисленными короткими порожистыми реками и болотами – вот характерные гидрографические черты рассматриваемого района. Поверхность района сильно заболочена: в среднем до 30% ее площади занято болотами и заболоченными землями, а местами заболоченность достигает 50% (Ресурсы, 1972; Соколов, 1952).

Рельеф и гидрогеологические условия. На характере рельефа значительно сказались тектоника и оледенение. В результате тектонических процессов возникли характерные для района разломы земной коры и ступенчатые сбросы, идущие в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Следы оледенения проявляются в ледниковых формах рельефа, представленных вытянутыми с северо-запада на юго-восток моренными грядами. Большая часть района по устройству поверхности представляет собой холмистую равнину с высотами до 200 м. Понижения рельефа в виде обширных низменностей с абсолютными отметками 0 – 50 м расположены на Карельском перешейке – Вуоксинская низина (Соколов, 1952).

В геологическом отношении район является частью Балтийского кристаллического щита. Он сложен в своей основе наиболее древними образованиями земной коры: ахрейскими гранитами сиенитами, слюдястыми сланцами, диабазами, амфиболитами и другими массивно-кристаллическими породами. С поверхности эти породы прикрыты ледниковыми отложениями: моренными супесями, суглинками, песками. Эти отложения не отличаются большой мощностью, поэтому коренные породы часто выходят на поверхность (Соколов, 1952).

Почвенно-растительный покров. Почвенная толща на всей территории хорошо отмыта от легко растворимых неорганических соединений (сульфатов и хлоридов), что также способствует формированию гидрокарбонатных вод очень малой минерализации (Соколов, 1952).

Большую часть территории занимает таежная зона. Карелию пересекают две широтные полосы этой зоны: северо-таежная, или полоса веронично-лишайников-зеленомошных хвойных лесов, и среднетаежная, или полоса зеленомошных хвойных лесов. Господствующим типом растительности являются леса, состоящие преимущественно из хвойных пород деревьев – сосны и ели (Соколов, 1952). Большое влияние на формирование химического состава поверхностных вод оказывает значительная залесенность территории (50 – 90%). Большинство лесных массивов заболочено. Процесс подзолообразования в лесах идет более интенсивно. Непосредственно под лесной подстилкой накапливаются продукты распада. В период половодья и высоких летне-осенних паводков поверхностно-склоновые воды стекают по хорошо промытой лесной почве, вымывая из лесной подстилки и верхнего горизонта ее большое количество органических веществ гумусового происхождения. В это время минерализация воды становится минимальной, а цветность и окисляемость – максимальной. Кроме того, увеличивается относительное содержание ионов SO_4 за счет регенерации их из растительных остатков. В меженный период влияние облесенности значительно уменьшается (Ресурсы, 1972).

В условиях рассматриваемой территории (влажный климат, подзолистые почвы) формируются преимущественно гидрокарбонатные поверхностные воды малой минерализации (Соколов, 1952).

Реки Оять, Паша и Сясь приурочены к бассейну Ладожского озера, а в административном отношении охватывает Ленинградскую и Новгородскую области.

Климатические особенности. Данный район отличается наибольшей континентальностью климата среди всех трех групп рек, где зима более длительна и сурова. По направлению на запад, и особенно на юго-запад климат становится более мягким и влажным (Ресурсы, 1972). Основной климатической особенностью территории является превышение осадков над испарением в течение всего года, в результате чего создается постоянная увлажненность почво-грунтов водосборов. Следствием этого является развитие дерново-подзолистых разной степени оподзоленных суглинистых и песчаных почв, а на пониженных участках рельефа торфяно-болотных почв (Соколов, 1952).

Рельеф и гидрогеологические условия. По строению поверхности район представляет собою низменную равнину с абсолютными отметками не выше 100 м над уровнем моря, однако встречаются более или менее возвышенные, всхолмленные участки с высотами до 200 – 300 м. Особый отпечаток на рельеф территории наложило четвертичное оледенение. Доледниковые формы рельефа скрыты здесь под мощными ледниковыми отложениями (Ресурсы, 1972).

Территория исследуемых рек расположена почти целиком в пределах Русской платформы и сложена комплексом осадочных дочетвертичных отложений, залегающих под четвертичными на архейском или протерозойском кристаллическом основании. Осадочные коренные образования области представлены преимущественно отложениями палеозоя: толщами нижнего кембрия, нижнего, среднего и верхнего ордовика, среднего и верхнего девона, нижнего и среднего карбона. В границах описываемой территории карстовыми процессами затронуто верхнее течение р. Сясь, где коренные породы представлены преимущественно песчано-глинистыми отложениями силурийской и девонской систем. Отмечаются выходы на поверхность силурийских известняков в нижнем течении р. Сясь (у д. Яхново). В питании указанных рек важную роль играют подземные источники, вызывающие местное увеличение минерализации речной воды (Ресурсы, 1972).

На водосборах рек Ояти, Паши и Сяси в периоды половодий преобладают сульфатные ионы. В поверхностных водах р. Сяси в меженные периоды преобладают ионы Na+K, а минерализация повышается до средней (Ресурсы, 1972).

Почвенно-растительный покров. Основным процессом почвообразования служит заболачивание и подзолообразование, что объясняется положением территории в зоне с холодным влажным климатом и малыми уклонами рельефа (Ресурсы, 1972). Подзолистые и болотные почвы характеризуются хорошей проницаемостью от легко растворимых соединений (SO_4 и Cl), поэтому они в малой степени обогащают речные воды ионами и в значительной мере – органическими веществами. В таких условиях формируются гидрокарбонатные воды преимущественно малой и средней минерализации (Соколов, 1952).

В периоды весеннего половодья и длительных дождевых паводков из лесной подстилки происходит вымывание большого количества органических веществ гумусового происхождения, что ведет к увеличению цветности, окисляемости воды, уменьшению pH и повышению относительного содержания ионов SO_4 , что не наблюдается обычно в зимнюю межень. На облесенных водосборах стекание атмосферных осадков

происходит по хорошо промытой подстилке, поэтому минерализация почвенно-поверхностных вод остается незначительной (Соколов, 1952).

Данная группа рек расположена в лесной зоне. Северо-восточная часть района относится к подзоне тайги, для которой характерно преобладание хвойных лесов, а остальная, большая по площади часть – к подзоне смешанных лесов, где большое распространение имеют широколиственные леса. Всего под лесом находится половина площади территории. Наиболее залесены (70-80%) северные и северо-восточные территории района. В бассейне р. Ояти, в верховьях р. Сяси леса занимают до 85% площади. Особенностью данного региона являются леса, стоящие на болотах. На рассматриваемой территории преобладают болота с умеренным минеральным питанием (олиготрофные и мезотрофные) моховые и трюфяно-моховые, реже имеют распространение эвтрофные болота. Под лугами находится 7% территории. Большинство лугов суходольные со злаково-разнотравной растительностью (Ресурсы, 1972).

Реки Вруда, Оредеж и Систа относятся к бассейну Финского залива, а в административном отношении входят в Ленинградскую область.

Климатические особенности. Территория исследуемых рек относится к зоне избыточного увлажнения. Это объясняется сравнительно наибольшим приходом тепла и хорошо развитой здесь циклонической деятельностью, активно проявляющейся здесь во все сезоны года. Климат атлантико-континентальный. Морские воздушные массы обуславливают сравнительно мягкую зиму с частыми оттепелями и умеренно-теплое, иногда прохладное лето (Ресурсы, 1972).

Рельеф и гидрогеологические условия. Рельеф территории возвышенный; абсолютные отметки высот колеблются от 100 до 200 м. Силурийское (Ордовикское) плато представляет собой возвышенную равнину. Западная часть его наиболее обширная и приподнятая, носит название Ижорского плато. Плато характеризуется почти полным отсутствием гидрографической сети, так как разнообразные карстовые воронки, слепые долины и суходолы сразу же поглощают дождевые и талые воды, переводя поверхностный сток в подземный. В бассейнах правых притоков Луги (Вруда и Оредеж) распространены трещиноватые и закарстованные известняки, слабо прикрытые четвертичными отложениями. На этих водосборах при незначительной их заболоченности речные воды отличаются максимальными для района величинами минерализации и жесткости воды и отсутствием агрессивной CO_2 в меженный период (Ресурсы, 1972).

Почвенно-растительный покров. Основным процессом почвообразования на территории бассейнов рек Вруды, Оредежи и Систы является подзолообразование. Широкое распространение имеют дерново-подзолистые дерново-карбонатные почвы на карбонатных валунных суглинках. В центральной части бассейна и низовье встречаются заболоченные почвы. По механическому составу преобладают средне- и легкосуглинистые почвы (Ресурсы, 1972).

Рассматриваемая территория расположена преимущественно в пределах южной подзоны тайги. Растительность представлена еловыми (в верхней части водосбора р. Оредеж) сосновыми, березовыми и ольховыми лесами. Однако здесь имеет место хозяйственная деятельность человека, которая проявляется в вырубке лесов и в создании на их месте окультуренных земель и лугов. На вырубках происходит смена еловых лесов, смешанных хвойно-лиственными и лиственными (березовыми и осиновыми). Болота встречаются редко и распространены в основном только в верхних частях бассейна р. Оредеж (Ресурсы, 1972).

В условиях Северо-Запада (влажный климат, дерново-подзолистые почвы, неоднородность геологического строения) формируются поверхностные воды малой и средней минерализации с преобладанием на большей части территории гидрокарбонатных ионов и ионов Са в течение всего года (Соколов, 1952).

Обобщая данные о физико-географических условиях формирования химического состава поверхностных вод, можно сделать вывод о том, что гидрохимические особенности исследуемых рек целесообразно рассмотреть для трех групп: Вуокса – Лососинка; Паша – Оять – Сясь и Вруда – Оредеж – Сиса.

Глава 2. Гидрологическая и гидрохимическая изученность региона

2.1. Гидрологическая характеристика

Обширная территория Ленинградской и Новгородской областей имеет хорошо развитую гидрографическую сеть, принадлежащую бассейну Балтийского моря. Густота речной сети в среднем составляет 0,56 км/км² (Ресурсы, 1972). Наличие большого количества рек, озер и болот обуславливается избыточно влажным климатом этого района. Характерным для гидрографической сети является большое количество мелких рек.

Имеющиеся различия в орографии и геологии территории Карелии и Северо-Запада

обуславливают большое разнообразие в характере распределения и строения гидрографической сети, а также в особенностях водного режима рек.

Гидрографическая сеть Карельского перешейка, к которой относится р. Вуокса, представлена небольшими либо короткими протоками, которые соединяя между собой многочисленные озера, образуют отдельные озерно-речные системы. Большинство речных и озерных котловин приурочено к тектоническим рвам, смягченным сглаженным действием ледника. Реки, несмотря на сравнительно небольшую длину, имеют большие площади водосборов за счет большой озерности водосборов. Большая озерность водосборов обуславливает общий облик водосборов и их особый гидрологический режим. Озерность отдельных рек достигает 32%. На территории наблюдается выраженная закономерность изменения озерности: от широты г. Петрозаводска озерность возрастает к северу и быстро падает к югу (Ресурсы, 1972).

Значительная приподнятость водоразделов и относительная близость к ним основных базисов эрозии (Балтийского моря, Ладожского и Онежского озер) обусловили значительное падение рек. Большая часть величины падения (80 – 90%) приходится на пороги и карешки. Рассматриваемые реки Карельского перешейка имеют наибольшие падения в среднем и нижнем течениях. Отличительной чертой бассейнов рек Вуоксы и Лососинки является высокая зарегулированность их озерами. В настоящее время все крупные озера, особенно в бассейне р. Вуоксы, являются водохранилищами. Также особый интерес привлекают озера-карманы, которые аккумулируют в себе часть руслового стока в период весеннего половодья. После снижения уровня воды в реке они сбрасывают эти запасы воды в русло, перераспределяя таким образом сток на нижележащем участке реки в весенне-летний период (Ресурсы, 1972).

Реки Оять, Паша и Сясь берут свое начало на главном водоразделе между Балтийским и Каспийским морями, которых проходит по Валдайской возвышенности простирающейся на северо-восток от нее Лужской возвышенности. Паша и Оять являются основными притоками р. Свирь, которая соединяет Ладожское и Онежское озера. Коэффициент густоты речной сети собственного бассейна составляет 0,52 км/км².

В верхней части бассейна р. Сясь широко развиты карстовые явления, которые обусловлены наличием здесь легко карстующихся известняков, слагающих Карбоновое плато. Речные воды, уходя в воронки и трещины, текут по подземному руслу, после чего опять выходят на поверхность (Ресурсы, 1972).

Реки Оять, Паша и Сясь питаются в основном за счет атмосферных осадков, так как хотя они и прорезают толщу нижнего карбона, но в силу малой обводненности этих отложений подземные воды здесь играют значительно меньшую роль в питании рек. В засушливые годы реки на этих участках местами пересыхают. На Карбоновом плато, особенно в районе глинта, реки, прорезая известняки, имеют каньонообразные глубокие долины, порожистые русла, уклоны здесь составляют 2 – 5 ‰. Течение реки в верховье бурное, по внешнему виду приближающееся к типу горных рек (Ресурсы, 1972).

Таблица 1. Гидрологические характеристики исследуемых рек

Река	Среднемноголетний расход воды, м ³ /с	Площадь водосбора, м ²	Длина, км
Вуокса	684	68 501	143
Лососинка	3,39	302	25
Паша	70	6 650	242
Оять	51,8	5 220	266
Сясь	53	7 330	260
Оредеж	20	3 220	192
Вруда	1,59	526	60
Систа	6,53	672	64

В центральной части Силурийского плато (Ижорское плато) гидрографическая сеть почти отсутствует. Густота речной сети здесь не превышает 0,07 км/км². Атмосферные осадки через карстовые воронки и трещины свободно проникает в толщу карстующихся известняков. На периферии плато повсеместно встречаются многочисленные и обильные родники, дающие начало рекам Вруде, Оредежи и Систе. Реки северной окраины плато, прорезая глинт, текут в глубоко врезанных долинах и имеют полугорный характер, а проходя по низменности, между глинтом и заливом, обычно сильно извилисты и заболочены (Ресурсы, 1972).

Внутригодовое распределение стока

Характер распределения стока в году определяется закономерностями внутригодового изменения основных климатических характеристик – атмосферных осадков, температуры и влажности воздуха, а также изменением их по территории в широтном и меридиональном направлениях. Наряду с зональными климатическими факторами на распределение стока по сезонам оказывают влияние местные физико-географические особенности. Группы исследуемых рек существенно различаются по преобладающим зональным особенностям, поэтому имеют различия во внутригодовом распределении

стока (Ресурсы, 1972).

Средние многолетние величины весеннего стока на рассматриваемой территории колеблются от 120 до 260 мм, что объясняется физико-географическими условиями в первую очередь озерностью и размерами озер. Наибольшие колебания величины слоя стока за весенний сезон наблюдаются в истоках из озер и составляют 75 – 100 мм. Доля весеннего стока составляет 29 – 66 % годовой величины стока и зависит от степени озерного регулирования (Ресурсы, 1972).

Весеннее половодье сменяется летней меженью, в период которой питание рек осуществляется за счет грунтовых вод и сработки озер. Летне-осенняя межень нередко прерывается дождевыми паводками. Осенью за счет длительных дождей и уменьшения испарения с поверхности водосбора меженный сток значительно увеличивается. В отдельные годы высота и объем осенних паводков может превышать весеннее половодье.

Средняя величина суммарного стока за летне-осенний период колеблется в пределах 80 – 180 мм. Общая тенденция увеличения стока за этот сезон с севера на юг нарушается регулирующим влиянием озер, что создает пестроту распределения стока по территории. Доля летне-осеннего стока составляет 31 – 45 % годового стока (Ресурсы, 1972).

Для зимнего стока характерно постепенное истощение его, более резкое в начале сезона и медленное в конце. Питание рек в этот сезон происходит за счет грунтовых вод и сработки озер. Величина зимнего стока изменяется по территории в небольшом диапазоне (25 – 75 мм). На безозерных территориях величина стока уменьшается до 8 – 15 мм, наоборот, на реках, вытекающих из озер, до 75 – 92 мм. Доля зимнего стока в годовом составляет 3 – 10 %.

Для последующего гидрохимического анализа вод исследуемых рек важной частью стало определение их водности. С этой целью сравнивались средние расходы воды за определенный год со среднемноголетними. После чего устанавливался год водности (Приложение 1).

Каждая из представленных групп рек имеет ряд своих особенностей и отличается от остальных. Ниже представлено более подробное описание того, как физико-географическое положение и местные условия отражаются на гидрологическом и гидрохимическом режимах.

Вуокса – Лососинка. Речная сеть Карелии принадлежит к бассейну Балтийского моря

и характеризуется многими особенностями, отличающими ее от других районов России. Для рек района характерным является большая озерность их бассейнов, колеблющаяся в пределах 2 – 10%, а местами достигающая 15% и более. Наибольшей озерностью отличается Вуокса (18,6% от общей площади бассейна) (Соколов, 1952).

Русла рек сложены трудно размываемыми породами (гранитами и гнейсами) или усеяны многочисленными валунами, вымытыми из ледниковых моренных отложений. Коренные кристаллические породы залегают неглубоко, и реки нередко врезаются до их уровня. Кроме того, пересекая ледниковые моренные гряды, реки вымывают из них крупные валуны и загромождают ими свои русла, образуя пороги. Наконец, одной из важных особенностей рек района является слабая разработанность речных долин, характеризующихся почти полным отсутствием пойм. Большинство водотоков района принадлежит к типу рек, имеющих смешанное питание, с преобладанием снегового (до 10%) при значительном дождевом (35%) и грунтовым (25%) питании (Соколов, 1952).

Для режима рек характерны следующие основные черты: весеннее половодье, летняя межень, осенний паводок и зимняя межень. Эти фазы, однако, отчетливо выражены лишь на реках безозерных или отличающихся малой озерностью. На большинстве же водотоков района годовой ход стока и колебания уровня сглажены вследствие регулирующего влияния озер, а поэтому различия между отмеченными фазами режима в значительной мере затушевываются.

Реки отличаются высокой относительной водностью. Коэффициент стока равен в среднем 0,6 – 0,8. Средний годовой сток составляет 9 – 10 л/сек км². Большое влияние на снижение величин максимума стока оказывает озерность. Минимальный сток на реках района может быть оценен как высокий. Даже в периоды наиболее низкого поверхностного стока – летом и зимой – минимальные модули стока рек не падают ниже 2 – 4 л/сек км². Величина минимального стока также находится в зависимости от озерности бассейнов рек. Чем больше степень озерности, тем более устойчив и более равномерен сток внутри года.

Уровенный режим рек района тесно связан с режимом их стока. Годовой ход уровня плавен и отличается малыми колебаниями, что в значительной мере находится в зависимости от степени озерности бассейнов рек (Ресурсы, 1972).

Таблица 2. Средние значения озерности, заболоченности, залесенности с учетом площади водосбора и модулей стока для исследуемых групп рек

Река – пункт	Площадь водосбора, км ²	Среднегоголетний модуль стока, л/с км ²	Озерность	Заболоченность	Залесенность
			%		
Оять – д. Миниская	685	10,2	2	10	80
Оять – д. Шангиничи	4930	10,5	3	8	85
Паша – д. Поречье	1110	12,2	1	10	75
Паша – с. Часовенское	5710	10,4	1	14	76
Сясь – д. Заболотье	612	8,2	1	7	85
Сясь – д. Яхново	6230	8,4	1	18	65
Систа – д. Среднее Райково	573	11,4	<1	3	77
Вруда – д. Извоз	462	12,7	<1	8	64
Оредеж – д. Большое Заречье	53,5	17,1	2	5	38
Оредеж – д. Моровино	2700	7,6	<1	12	66
Вуокса – Х ГЭС	61 500	8,7	18,6	-	-
Лососинка – г. Петрозаводск	276	12,3	-	-	-

Реки Вуокса и Лососинка входят в юго-восточный район, который отличается высокой озерностью (4 – 6 %). На водосборах данных рек больше половины годового стока приходится на весенний сезон, в мае. Наименьшая водность в году отмечается в марте. Внутри лимитирующего периода преобладает доля весеннего летне-осеннего стока, которая превышает сток лимитирующего сезона (зимы) в 4 – 5 раз. Наименьшая для всей рассматриваемой территории доля зимнего стока на реках колеблется от 3 до 12 %. В целом для рассматриваемой группы рек может быть принято следующее распределение стока по сезонам: весна – 55 % годового, лето – осень – 37 %, зима – 8 % (Ресурсы, 1972).

Средние величины слоя весеннего стока колеблются в пределах 80 – 210 мм. При этом обнаруживается общее увеличение абсолютных величин весеннего стока в направлении с юго-запада на северо-восток. Оно обусловлено распределением по территории запасов воды в снежном покрове, увеличивающихся также в направлении с юго-запада на северо-восток. Доля весеннего половодья составляет 38 – 68 % годового стока (Ресурсы, 1972).

При вытянутости района с севера на юг почти на 1000 км, сроки наступления тех или иных фаз ледового режима значительно изменяются по территории. Замерзание рек на севере происходит в середине октября, на юге - примерно на месяц позже, в середине ноября. Вскрытие рек на юге наблюдается в середине апреля, на севере - в начале мая. Многие порожистые, участки рек и истоки из озер (вследствие подтока относительно теплых глубинных вод из озера) замерзают лишь в середине зимы, а некоторые совсем не покрываются льдом (Соколов, 1952).

Влияние гидравлических условий, прежде всего скоростей течения, сильно сказывается также и на толщине ледяного покрова, которая на плесовых участках достигает значительной мощности; порожистые места и участки рек в истоках из озер покрываются тонким льдом лишь в середине зимы или всю зиму остаются открытыми. На порожистых участках рек зимой наблюдается образование внутриводного льда; нередко он скопляется в таком количестве, что образуются зажоры (Ресурсы, 1972; Соколов, 1952).

Трудно поддающиеся размыву горные породы, большая залесенность и заболоченность бассейнов, а также наличие большого количества озер, играющих роль отстойников, не благоприятствуют развитию здесь эрозионных процессов. Поэтому мутность речных вод района очень мала – меньше, чем где-либо в других районах страны. (Ресурсы, 1972; Соколов, 1952).

Гидрохимический режим рек района в значительной мере определяется общими климатическими условиями и геологическим строением их бассейнов. Речные и озерные воды обладают слабой минерализацией, обычно не превышающей 20-30 мг/л, и ничтожной жесткостью. Типичным для рек района является также повышенное содержание органических веществ в воде, что связано с питанием многих рек болотными водами (Соколов, 1952).

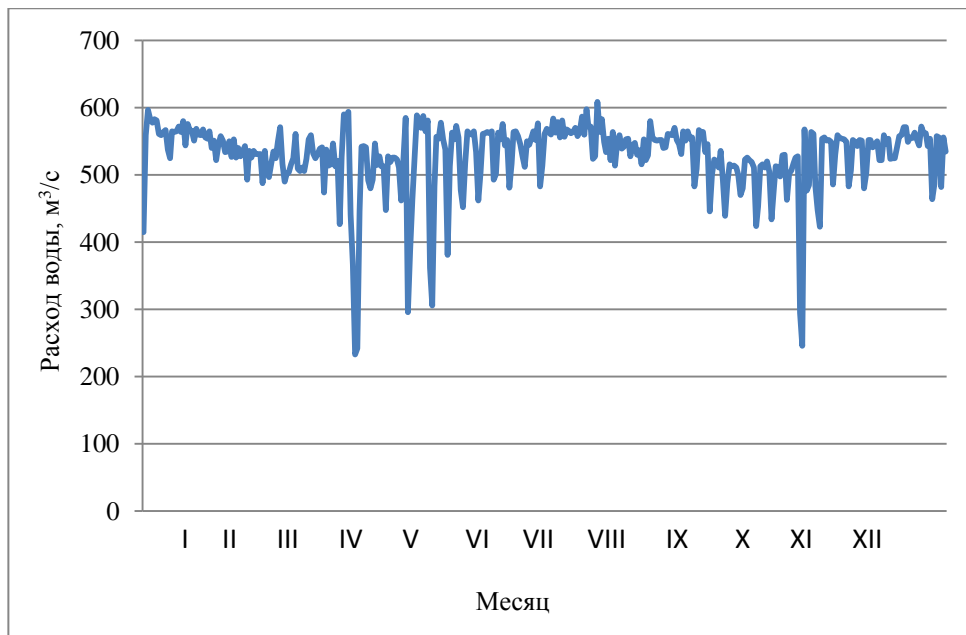


Рис 2. Гидрограф стока р. Вуокса – Х ГЭС за 1985 г. (средневодный)

Таким образом, характерной особенностью водного режима рек Вуоксы и Лососинки является естественная зарегулированность их озерами и болотами. Кроме того, сток регулируется лесосплавными плотинами и гидротехническими сооружениями. Реки имеют ярко выраженное весеннее половодье, летне-осенние паводки и зимнюю межень. Летняя межень совершенно не выражена и представляет собой постепенный спад уровней весеннего половодья, переходящий затем в подъем от осенних дождей.

Оять – Паша – Сясь. Для рек Северо-Западного района характерно смешанное питание; преобладает снеговое питание (менее 50%) и примерно в равной доле участвуют талые, дождевые и грунтовые воды. В соответствии с этим гидрографы рек района характеризуются высоким весенним половодьем, формирующимся за счет таяния снега, летней и зимней межени, которые при обильном грунтовом питании относительно обеспечены водой, и осенним паводком, образующимся за счет дождей и достигающим в редких случаях размеров весеннего половодья (Ресурсы, 1972).

При обильных осадках реки района отличаются относительно высокой водностью. Средние величины модулей стока составляют 6 – 9 л/сек км². Максимальный сток на реках наблюдается весной, т. е. в периоды наиболее интенсивного поступления талых вод.

Летом и зимой сток на более или менее значительных реках сильно уменьшается, однако на большинстве водотоков не падает ниже 1,0 – 1,5 л/сек км². На малых реках минимумы стока могут быть ниже приведенных величин, причем на очень малых

водотоках, площади водосбора которых не превышают 100 км², наблюдаются случаи пересыхания и замерзания (Ресурсы, 1972).

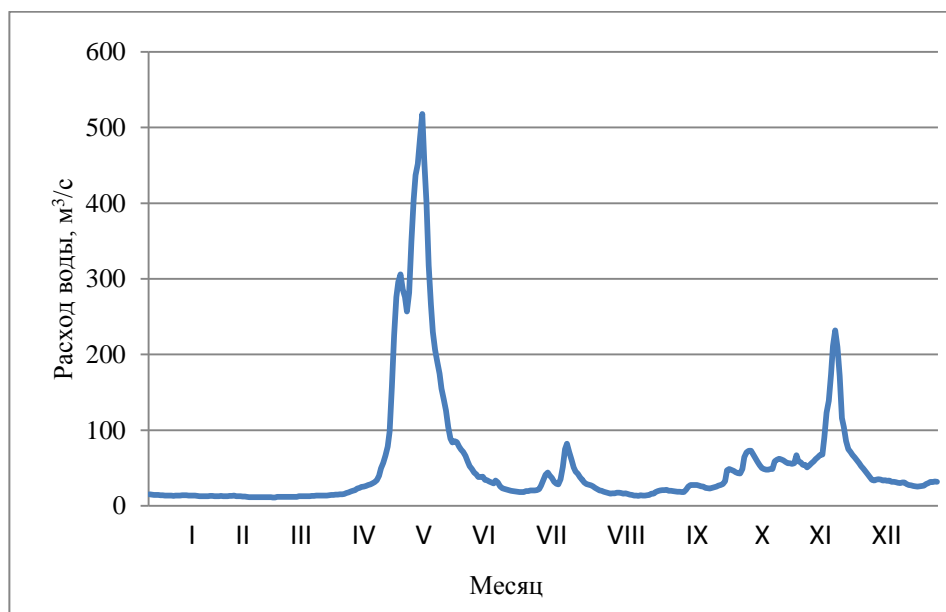


Рис 3. Гидрограф стока р. Паша – д. Часовенское за 1985 г. (многоводный)

Реки Оять, Паша и Сясь охватывают Свирско-Мстинский район, характеризующийся устойчивым и равномерным распределением стока между лимитирующим периодом и весенним половодьем. На долю лимитирующего периода приходится в среднем 44 % годового стока, из них на долю летне-осеннего сезона – 32 %, зимнего – около 12 %.

Наибольшие относительные величины зимнего стока (13,8 – 14,5 % годового) наблюдается на реках с карстовым питанием (р. Сясь). Наименьшая величина (9 %) получена для р. Ояти (у д. Миниска), в верховьях которой также наблюдаются карстовые явления, но в данном случае карст не охватывает в зимнюю межень положительного влияния на питание реки. Наибольший месячный сток на р. Ояти наблюдается в мае, на реках Паша и Сясь – в апреле. Наименьший сток в году наблюдается зимой, в марте (Ресурсы, 1972).

При значительной залесенности и заболоченности речных бассейнов эрозионная деятельность вод проявляется слабо. Поэтому реки большей частью имеют малую мутность - в среднем не более 50 г/м³. Большая часть твердого стока (85 – 95%) проходит весной, в период половодья.

Характерным является также весьма слабая минерализация речных вод, не превышающая обычно 100 мг/л растворенных, в воде веществ. Воды мягкие и относятся к гидрокарбонатному классу. Характерным почти для всех рек является повышенное содержание органических веществ в воде (Соколов, 1952).

Вруда – Оредеж – Систа. На внутригодовое распределение стока рек бассейна Финского залива существенное влияние оказывает карст: он сглаживает годовой ход стока, значительно снижает удельный вес стока весеннего половодья. На долю весеннего стока приходится в среднем 47 % годового. Летне-осенний сток составляет 37 %, зимний – 16 % годового стока (Соколов, 1952). Указанные выше наибольшие величины летне-осеннего и зимнего стока наблюдаются на реках Вруде, Оредежи и др. Наибольший месячный сток в этом районе наблюдается весной – апрель, наименьший зимой – февраль – март (Ресурсы, 1972).

В зависимости от степени закарстованности речных водосборов режим стока в районе изменяется в больших пределах: относительная величина летне-осеннего стока колеблется от 27 % годового стока до 44 %, величина зимнего стока – от 12 до 20 %.

Наибольшее регулирующее влияние карст оказывает на сток р. Оредеж: на долю весны здесь приходится только 43 % годового стока, на долю летне-осеннего – 40 %. Наибольший месячный сток в этом районе наблюдается весной, в апреле, наименьший – зимой, в феврале, реже в марте (Ресурсы, 1972).

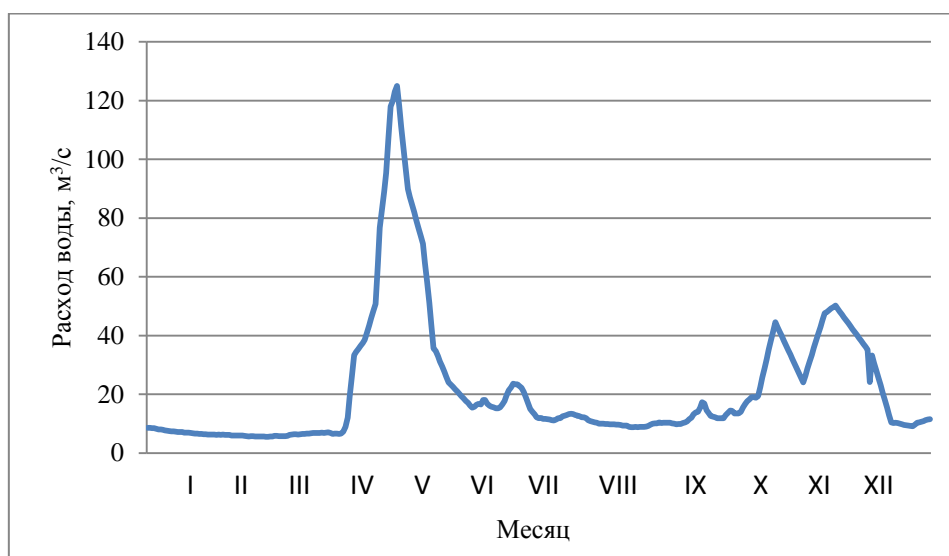


Рис 4. Гидрограф стока р. Оредеж – д. Моровино за 1985 г. (средневодный)

Данный район резко выделяется полным отсутствием рек, где дождевые и талые воды поглощаются карстовыми воронками и не дают стока. По периферии плато отмечаются обильные выходы грунтовых вод. В строении продольных профилей рек видны резкие переломы, приуроченные к двум основным направлениям – Силурийскому и Карбоновому глинтам, сложенным трудно размываемыми породами (Ресурсы, 1972).

Таким образом, характерной особенностью этих рек является повышенное грунтовое питание, которое они получают за счет карстовых вод Силурийского плато. Их

подземные бассейны значительно больше поверхностных водосборов. При пересечении Силурийского глинта реки южного побережья Финского залива образуют пороги.

2.2. Гидрохимическая изученность

Изучение химического состава поверхностных вод рек Ленинградской и Новгородской областей проводилось многими специалистами. Наиболее полно гидрохимия рек Северо-Запада России и Карелии представлена в работах Воронкова П. П. (Воронков, 1970), Алекина О. А. (Алекин, 1970), Скакальского Б. Г. (Скакальский, 1966), Максимовой М. П. (Максимова, 1979) и других авторов.

Вопросы формирования химического состава вод рек в зависимости от физико-географических условий водосборных территорий впервые были рассмотрены в работах П. П. Воронкова (Воронков, 1966, Воронков, 1970). Автором были выявлены гидрохимические особенности рек и озер Карельского перешейка Ленинградской области, обусловленные ландшафтными и климатическими условиями.

Наибольший вклад в изучение гидрохимии рек Северо-Запада, испытывающих сильное влияние заболоченных водосборов, внес Воронков П. П. (Воронков, 1951; Воронков, 1970). На примерах рек Ояты, Паши и Вуоксы было показано, что в условиях высокой заболоченности водосборов и бедным солевым составом дерново-подзолистых почв, из-за большого количества выпадающих осадков воды малых рек и озер региона имеют слабокислую реакцию среды (5 – 6,5 ед. рН), малую минерализацию (20 – 30 мг/л) а также значительно обогащены органическими веществами гумидного происхождения, что увеличивает цветность (более 100 градусов) и значения бихроматной окисляемости (более 30 мгО/л). На основе сезонных наблюдений автора (Воронков, 1966) за химическим составом вод характерных болотных ручьев верхового болотного массива Ламмин-Суо отмечается, что воды сфагновых болот Карельского перешейка содержат малое количество неорганических соединений, составляющих сумму главных ионов, которая колеблется на уровне 10 мг/л, тогда как концентрация соединений железа и кремния, мигрирующих чаще всего в виде коллоидов может значительно превышать сумму ионов. При этом, опираясь на собственные данные сезонной динамики химического состава болотных вод и атмосферных осадков, П.П. Воронков также делает очень важный вывод о том, что «основным резервуаром химических соединений болотных вод являются как неорганические соединения атмосферных вод, так и соединения, образующиеся при разложении растительных остатков торфа». Увеличение концентрации ионов кальция и сульфатных ионов в меженные периоды

автор объясняет отсутствием их разбавления менее минерализованными атмосферными водами (Воронков, 1966).

Анализ данных гидрологических и гидрохимических наблюдений позволили Воронкову П.П. (Воронков, 1951; Воронков, 1970) определить численные значения и особенности ионного стока и стока органических веществ для ряда рек Северо-Запада. По имеющимся данным были построены карты изменения количества растворенных солей от различных условий и изменения перманганатной и бихроматной окисляемостей в зависимости от широты местности.

На основе обобщения данных многолетних гидрохимических наблюдений Северо-Западного Управления Гидрометслужбы на реках Северо-Запада и Карелии (реки Вуокса, Лососинка, Оять, Паша, Сясь, Вруда, Оредеж и Систа) в монографии (Ресурсы, 1972) впервые была представлена гидрохимическая характеристика рек в основные фазы водного режима. При этом была установлена региональная гидрохимическая специфика исследуемых рек. Авторы выделяли реки с малой минерализацией (Вуокса, Лососинка, Оять, Паша, Сясь) и со средней минерализацией (Вруда, Оредеж, Систа). Повышенная минерализация вод рек установлена для рек, дренирующих карстовые породы на территории Ижорского плато.

В 80-ые годы обширные гидрохимические исследования рек-притоков Ладожского озера проводились Институтом озероведения АН СССР (Современное состояние, 1987). Основное внимание в этих работах уделялось оценке содержания биогенных элементов в озерных и речных водах и их влиянию на экологическое состояние озера. Авторами работ (Расплетина, 1987) впервые были приведены данные о поступлении биогенных элементов, органического вещества и микроэлементов в Ладожское озеро с речным притоком по сезонам за отдельные годы

Вопросы оценки стока химических веществ наиболее полно были освещены в работах Алекина О. А. (Алекин, 1970), А. В. Мальцевой и Тарасова М. Н. (Мальцева, 1987; Тарасов, 1988), а также дана оценка среднего многолетнего годового стока органических веществ с территории СССР, выявлены некоторые изменения этого стока во времени и в зависимости от физико-географических условий.

В работе (Тарасов, 1988) представлены данные расчета среднемноголетних характеристик стоков биогенных элементов (азота и фосфора) для рек бассейна Атлантического океана (р. Нева, р. Луга), которые были использованы в настоящей работе как фоновые значения показателей стока. Многолетняя изменчивость ионного

стока Севера Европейской части России отражена в работе (Белоногов, 1999). Важные сведения о стоке биогенных элементов реками-притоками Ладожского озера за период 1995 – 2000 гг. приведены в монографии (Ладожское озеро, 2002).

В настоящее время значительное внимание в литературе уделяется вопросам изменения химического состава вод рек под влиянием хозяйственной деятельности. Впервые оценка изменения общей минерализации воды в многолетнем плане была приведена в монографии (Алекин, 1970). Автором впервые было установлено повсеместное увеличение минерализации воды под влиянием хозяйственной деятельности. Этот процесс протекает в различной интенсивности в зависимости от степени хозяйственного освоения территории. Особое внимание в литературе уделяется оценке изменения относительного содержания отдельных компонентов ионного состава вод, происходящих под влиянием хозяйственной деятельности (Белоногов, 1999). Как известно, одной из причин увеличения минерализации является активизация процессов химической эрозии в результате сельскохозяйственных работ. Этот процесс обычно не приводит к изменению естественных соотношений между главными ионами, а проявляется лишь в увеличении их общего содержания.

Влияние хозяйственной деятельности наиболее подробно изучалось сотрудниками Российской Академии Наук – Румянцевым В. А. (Ладожское озеро, 2002), Кудерским Л. А. (Кудерский, 2002) на примере рек-притоков Ладожского озера и Скакальским Б. Г. (Скакальский, 1982). В работах этих авторов установлено, что наибольшие изменения химического состава вод рек Вуокса и Сясь происходят под влиянием усиления антропогенной нагрузки в экономически развитых районах страны.

Подводя итог анализу литературных данных можно сделать вывод о недостаточной освещенности вопросов региональной гидрохимической специфики и стока растворенных веществ по конкретным водным объектам Северо-Запада. Поставленные задачи моей работы позволяют восполнить эти пробелы и представить дополнительную информацию об изменениях качества вод рек региона и стока растворенных веществ в период наиболее интенсивного хозяйственного освоения их водосборных территорий.

Глава 3. Гидрохимическая характеристика рек по данным Северо-Западного Управления Гидрометеорологической Службы

3.1 Характеристика основных показателей химического состава речных вод в период интенсивного хозяйственного освоения водосборов в сравнении с фоновыми гидрохимическими показателями

Анализ гидрохимических данных рек Северо-Запада и Карелии проводился по данным Северо-Западного Управления Гидрометеорологической Службы (Ежегодные данные, 1986 – 1988). Обобщение проводилось по основным гидрохимическим показателям (общая минерализация, рН), по органическому веществу (цветность, бихроматная окисляемость, БПК₅) и газовому составу (растворенный кислород), по биогенным веществам (нитратный и нитритный азот, общий фосфор, общее железо) и по загрязняющим веществам (нефтепродукты, СПАВ, тяжелые металлы).

Объем данных по рекам за период с 1960 по 1962 гг. составил 154. Из них на группы рек Оять – Паша – Сясь приходится 94 элемента, на р. Лососинка – 19, на реки Вруда – Оредеж – Систа – 41. Отдельно для каждой реки объем выборки был следующим: Паша 33 элемента, Оять – 28, Сясь – 33, Лососинка – 19, Вруда – 11, Оредеж – 16, Систа – 14.

Объем данных по рекам за период 1985 – 1987 гг. составил 164. Из них на группы рек Оять – Паша – Сясь приходится 57 элементов, на реки Вуокса – Лососинка – 87, на реки Вруда – Оредеж – 20. Отдельно для каждой реки объем выборки был следующим: Паша 24 элемента, Оять – 12, Сясь – 21, Вуокса – 63, Лососинка – 24, Вруда – 4, Оредеж – 16.

Период с 1960 по 1962 года принят за фоновый, а 1985 – 1987 гг. относится к периоду наиболее интенсивного хозяйственного освоения водосборов исследуемых рек.

Характеристика общих гидрохимических показателей составлена на основе статистической обработки данных составленной информационной базы данных в программе Excel по исследованным рекам за два периода наблюдений. Установленные среднемноголетние статистические гидрохимические характеристики представлены в таблицах 3 – 5. Ниже приводится гидрохимическая характеристика по основным компонентам химического состава исследованных вод.

3.1.1. Общая минерализация, рН и ионный состав

Статистическая оценка давалась на основе расчетов коэффициентов вариации для выборок с числом членов 11 – 87 (рН) и 19 – 94 (общая минерализация). Диапазон фона рассчитывался по формуле (Методические указания 2002):

$$Df = C_{cp} \pm \frac{\sigma \cdot \tau}{\sqrt{n}}$$

Где Df – диапазон фона, C_{cp} – среднемноголетние значения компонента, σ – среднеквадратичное отклонение, τ – коэффициент распределения Стьюдента, n – число членов выборки.

Таблица 3. Среднемноголетние статистические характеристики общих гидрохимических показателей рек за два периода наблюдений

Группа рек	Период	рН		Общая минерализация		
		N	$\frac{\text{Диапазон фона}}{Cv}$	N	$\frac{\text{Диапазон фона}}{Cv}$	Индекс Алекаина
1	1960 – 1962	16	$\frac{6,5 \pm 0,09}{0,03}$	19	$\frac{23,3 \pm 2,94}{0,32}$	$C_{Ca0,3} I_{0,02}$
2		-	Н. п.	94	$\frac{72,2 \pm 9,78}{0,79}$	$C_{Ca0,8} I_{0,07}$
3		11	$\frac{7,78 \pm 0,15}{0,04}$	41	$\frac{259,2 \pm 29,93}{0,44}$	$C_{Ca3,3} I_{0,26}$
1	1985 – 1987	87	$\frac{6,59 \pm 0,05}{0,04}$	78	$\frac{45,9 \pm 1,64}{0,19}$	$C_{Ca0,4} I_{0,05}$
2		57	$\frac{6,86 \pm 0,08}{0,06}$	54	$\frac{107,1 \pm 17,4}{0,71}$	$C_{Ca1,23} I_{0,11}$
3		20	$\frac{7,45 \pm 0,12}{0,04}$	19	$\frac{294,7 \pm 47,06}{0,36}$	$C_{Ca3,9} I_{0,29}$

Примечание: группа рек 1 Вуокса – Лососинка, 2 – Оять – Паша – Сясь, 3 Вруда – Оредеж – Систа; Н. п. – ниже порога обнаружения или не определялось; N – число членов выборки.

Согласно данным табл. 3, исследуемые воды рек Вуоксы и Лососинки относятся к нейтральным водам очень малой минерализации, воды рек Ояти, Паши и Сяси – к нейтральным маломинерализованным, реки Вруда, Оредеж и Систа – к слабощелочным средней минерализации.

Гидрохимические данные и анализ физико-географических условий позволили дифференцировать исследуемые реки по группам: Вуокса – Лососинка, Оять – Паша – Сясь и Вруда – Оредеж – Систа. Действительно, как было указано выше (см. Главу 1) наличие на водосборах рек Карелии и Карельского перешейка трудно размываемых горных пород (граниты и гнейсы), большой залесенности и озерности обуславливают очень малые значения минерализации, не превышающей 23 – 46 мг/л. Кроме того, слабощелочная реакция среды (6,5 ед. рН) объясняются повышенным содержанием органических веществ в воде, что связано с питанием многих рек болотными водами. В связи с этим мы посчитали возможным объединить реки Вуокса (Карельский перешеек) и Лососинка (Республика Карелия) в одну группу.

Реки бассейна Ладожского озера (Оять – Паша – Сясь) также имеют свою региональную специфику: малая минерализация (70 – 110 мг/л), нейтральная реакция рН (6,86 ед. рН), повышенные значения цветности (80 – 126 градусов) и ХПК (до 40 мгО/л), что обусловлено наиболее значительным влиянием верховых болот на их водосборах.

Реки бассейна Финского залива (Вруда – Оредеж), испытывающие влияние карстовых проявлений на водосборной территории, наиболее сильно отличаются от типичных представителей рек Ленинградской области. К наиболее отличительным признакам этих рек относится их высокая минерализация (260 – 300 мг/л) в сравнении с региональным гидрохимическим фоном, которая обусловлена усилением грунтового питания за счет растворения карстовых пород, залегающих близко к поверхности. Воды рек данной группы относятся к слабощелочным, что объясняется дренированием рек известняковых пород, гидролиз которых приводит к созданию слабощелочной реакции среды (7,5 ед. рН).

Статистическая оценка величин рН и общей минерализации вод свидетельствует о малой многолетней изменчивости рН (коэффициент вариации не превышает 0,06) и значительной изменчивости минерализации (при коэффициенте вариации 0,31 – 0,79), наиболее сильно выраженной для рек группы Паша – Сясь, что, возможно, связано с сильными антропогенными изменениями вод р. Сясь.

3.1.2. Биогенные элементы, органическое вещество и газовый состав

Обобщение основано на данных многолетних наблюдений в условиях 4 – 6 разового отбора проб в основные гидрологические фазы водности. Статистическая обработка велась по минеральному фосфору, нитритному и аммонийному азоту, общему железу,

а также по бихроматной окисляемости. Статистические характеристики по компонентам приведены в табл. 4 и 5.

Таблица 4. Среднемноголетние значения биогенных элементов по группам рек за периоды 1960 – 1962 гг. и 1985 – 1987 гг.

Группа рек	Период	Минеральный фосфор (мгР/л)		Азот				Общее железо (ПДК = 0,1 мгFe/л)	
		N	Диапазон фона Cv	NO ₂ (ПДК = 0,02 мгN/л)		NH ₄ (ПДК = 0,39 мгN/л)		N	Диапазон фона Cv
				N	Диапазон фона Cv	N	Диапазон фона Cv		
1	1960 - 1962	19	$\frac{0,01 \pm 0,004}{0,93}$	13	$\frac{0,001 \pm 9,8}{2,34}$	-	Н. п.	19	$\frac{0,7 \pm 0,124}{0,43}$
2		82	$\frac{0,01 \pm 0,002}{1,00}$	92	$\frac{0,01 \pm 0,005}{0,37}$	-	Н. п.	91	$\frac{0,6 \pm 0,05}{0,53}$
3		38	$\frac{0,01 \pm 0,003}{1,48}$	41	$\frac{0,01 \pm 0,02}{1,35}$	-	Н. п.	41	$\frac{0,28 \pm 0,07}{0,91}$
1	1985 – 1987	39	$\frac{0,01 \pm 0,003}{0,78}$	32	$\frac{0,004 \pm 0,003}{1,89}$	61	$\frac{0,09 \pm 0,06}{1,30}$	68	$\frac{0,19 \pm 0,04}{1,06}$
2		35	$\frac{0,02 \pm 0,008}{1,28}$	12	$\frac{0,01 \pm 0,003}{0,70}$	28	$\frac{0,09 \pm 0,03}{3,07}$	56	$\frac{0,52 \pm 0,07}{0,57}$
3		20	$\frac{0,03 \pm 0,004}{0,47}$	16	$\frac{0,10 \pm 0,57}{2,58}$	15	$\frac{0,07 \pm 0,04}{0,92}$	20	$\frac{0,37 \pm 0,07}{0,48}$

Примечание: номер группы рек 1 – Вуокса – Лососинка, 2 – Оять – Паша – Сясь, 3 – Вруда – Оредеж – Систа. Н. п. – ниже порога обнаружения или не определялось; N – число членов выборки.

В соответствии с данными табл. 4, за период 1960 – 1962 гг. по всем группам рек концентрации минерального фосфора составляли 0,01 мгР/л, однако, начиная с середины 80-х годов различия в среднемноголетних концентрациях минерального фосфора начинают увеличиваться. Так, для рек Вруды – Оредежи – Систы среднемноголетние содержания фосфатов составили 0,03 мг/л, что свидетельствует об активной сельскохозяйственной деятельности на водосборной территории этих рек. Коэффициенты вариации содержаний минерального фосфора колебались в диапазоне от 0,37 до 2,58, что обусловлено его высокой сезонной изменчивостью.

Аналогичные изменения характерны для содержания нитритного азота. В 60-е года концентрации C_N не превышали ПДК, составляя 0,001 – 0,01 мгN/л. Но с увеличением интенсивности хозяйственной деятельности содержание нитритного азота значительно увеличилось, в особенности на водосборах рек Вруда – Оредеж – Систа (0,10 мгN/л), превысив ПДК (5 ПДК). Повышенное содержание биогенных элементов в водах этих рек связано с внесением минеральных удобрений. Значения нитритного азота сильно разбросаны ($C_v = 2,58$) для рек с повышенным сельскохозяйственным освоением водосбора – реки бассейна Финского залива, при чем разброс увеличился по сравнению с 60-ми гг., где $C_v = 1,35$.

Наблюдения за аммонийным азотом начали проводиться только с 80-х годов. Для рек Вуокса – Лососинка и Оять – Паша – Сясь эти значения составили 0,09 мгN/л, а для рек Вруда – Оредеж – Систа – 0,07 мгN/л. Превышения ПДК не наблюдалось. Коэффициент вариации колеблется в значительных пределах $C_v = 1,90 – 3,07$, особенно для рек с сильной заболоченностью водосборов.

Что касается концентраций железа, для всех исследуемых рек характерно повышенное содержание общего железа (диапазон 0,2 – 0,7 мгFe/л), что характерно для регионального геохимического фона. Максимальны значения зарегистрированы для рек Оять – Паша – Сясь (0,7 мгFe/л), поскольку их водосборы являются сильно заболоченными.

В соответствии с данными табл. 4, заметно, что концентрации общего железа возросли в 80-х гг. в несколько раз по сравнению с 60-и. Так, для рек Вуокса – Лососинка в период 1960 – 1962 гг. содержания железа достигали 0,7 мгFe/л (7 ПДК), а в 1985 – 1987 гг. уже 0,19 мгFe/л (1,9 ПДК), что может говорить о промышленном загрязнении вод (металлургические, металлообрабатывающие и лакокрасочные заводы). Для рек Вруда – Оредеж – Систа концентрации железа увеличились с 0,28 мгFe/л в 60-е гг. до 0,37 мгFe/л в 80-е. Такие значения говорят об интенсивных процессах выветривания железорудных пород, разрушении этих пород и растворении. Коэффициент вариации для рек первой группы (Вуокса – Лососинка) от 0,43 в 60-х гг. до 1,06 – в 80-х, что указывает на межгодовую изменчивость значений общего железа. Для рек бассейна Ладожского озера $C_v = 0,53 – 0,57$, т.е. не наблюдается повышения разброса по периодам.

Таблица 5. Среднемноголетние значения органических веществ и газового состава по всем группам рек за периоды 1960 – 1962 гг. и 1985 – 1987 гг.

Группа рек	Период	Цветность (градусы)		БПК5 (ПДК = 2 мгО/л)		Бихроматная окисляемость (ПДК = 15 мгО/л)		Растворенный кислород (ПДК = 6 мгО/л), мг/л	
		N	$\frac{\text{Диапазон фона}}{Cv}$	N	$\frac{\text{Диапазон фона}}{Cv}$	N	$\frac{\text{Диапазон фона}}{Cv}$	N	$\frac{\text{Диапазон фона}}{Cv}$
1	1960 - 1962	19	$\frac{93,2 \pm 10,4}{0,28}$	-	Н. п.	10	$\frac{35 \pm 4,41}{0,22}$	16	$\frac{11,1 \pm 0,65}{0,14}$
2		93	$\frac{125,8 \pm 7,2}{0,33}$	-	Н. п.	86	$\frac{38,9 \pm 1,9}{0,27}$	-	Н. п.
3		41	$\frac{57,6 \pm 8,64}{0,57}$	-	Н. п.	39	$\frac{23,8 \pm 3,59}{0,55}$	10	$\frac{11,2 \pm 0,74}{0,12}$
1	1985 – 1987	84	$\frac{48,5 \pm 6,03}{0,69}$	86	$\frac{2,35 \pm 0,18}{0,41}$	86	$\frac{22,9 \pm 1,11}{0,93}$	87	$\frac{10,9 \pm 0,32}{0,17}$
2		56	$\frac{76,5 \pm 7,9}{0,46}$	54	$\frac{1,67 \pm 0,21}{0,53}$	56	$\frac{31,4 \pm 2,61}{0,37}$	56	$\frac{9,1 \pm 0,45}{0,22}$
3		16	$\frac{67,3 \pm 20,9}{0,71}$	20	$\frac{1,76 \pm 8,51}{0,36}$	20	$\frac{33,9 \pm 7,65}{0,55}$	20	$\frac{9,6 \pm 0,69}{0,19}$

Примечание: номер группы 1 – Вуокса – Лососинка, 2 – Оять – Паша – Сясь, 3 – Вруда – Оредеж – Систа. Н. п. – ниже порога обнаружения или не определялось; N – число членов выборки.

Полученные данные о содержаниях органического вещества так же, как и по другим общим гидрохимическим показателям подтверждают правомерность выделения исследуемых рек по группам. Реки Оять – Паша – Сясь имеют преимущественно болотное питание, поэтому значения цветности (125,8 градусов в 60-е гг. и 76,5 градусов – 80-е) и бихроматной окисляемости (38,9 мгО/л и 31,4 мгО/л) здесь самые высокие среди всех групп. Превышений ПДК по БПК5 не выявлено (1,67 мгО/л). Воды данной группы рек являются хорошо насыщенными кислородом (9,1 мгО/л).

Реки Вуокса – Лососинка по цветности уступают предыдущим, которая колеблется в пределах 93,2 в 60-х гг. и до 48,5 градусов в 80-х, уменьшаясь практически в два раза, что связано с мелиорацией болот. Концентрации бихроматной окисляемости составляют 35 мгО/л в 60-е гг. и уменьшаются до 22,9 мгО/л к 80-м годам. Воды

являются хорошо насыщенными кислородом (11,1 мгО/л), что как раз характерно для рек Карелии и Карельского перешейка в связи с большими уклонами местности. Здесь же было выявлено превышение ПДК по БПК₅ (2,35 мгО/л).

Реки третьей группы, Вруда – Оредеж – Систа, имеют малую цветность 58 – 67 градусов. Болота здесь расположены только в верховьях Оредежи, на остальных частях рек они отсутствуют. Бихроматная окисляемость имеет тенденцию к увеличению. В 60-х гг. ее концентрации составляли 23,8 мгО/л, а к 80-м гг. произошло увеличение до 33,9 мгО/л, что, по-видимому, связано с увеличением интенсификации хозяйственной деятельности на водосборах. Также уменьшились концентрации растворенного кислорода с 11,2 до 9,6 мгО/л, однако превышений ПДК по БПК₅ не выявлено (1,76 мгО/л).

Максимальные коэффициенты вариации для цветности установлены для первой группы рек (Вуокса – Лососинка) $C_v = 0,69$ и для третьей (Вруда – Оредеж – Систа) – 0,71. При этом наблюдаются различия вариабельности по периодам. Наибольший коэффициент вариации по БПК₅ выявлен для рек Оять – Паша – Сясь ($C_v = 0,53$). Значения бихроматной окисляемости также сильно вариабельны. Максимальный коэффициент вариации установлен для рек Вуокса – Лососинка ($C_v = 0,93$) и для рек бассейна Финского залива ($C_v = 0,55$). Такой разброс значений можно объяснить заболоченностью верховьев исследуемых рек, когда в остальной части они встречаются редко.

3.2. Сезонная изменчивость речных вод за период 1985-1987 гг.

Оценка сезонной изменчивости поверхностных вод является важной составляющей в гидрохимических расчетах, поскольку дает представление о естественном ходе того или иного вещества и об антропогенном влиянии.

В ходе анализа имеющихся данных были выделены три представителя рек из каждой группы за период 1985 – 1987 гг. – реки Вуокса, Паша и Оредеж, как наиболее характерные. Оценка проводилась по следующим химическим веществам: общая минерализация, рН, цветность, бихроматная окисляемость, нитритный азот, минеральный фосфор и общее железо. В табл. 6. представлены результаты расчета сезонной изменчивости речных вод по гидрохимическим характеристикам.

Таблица 6. Сезонная изменчивость речных вод по главным гидрохимическим характеристикам, органическим и биогенным веществам по отдельным рекам за период 1985 – 1987 гг.

Сезон	Общая минерализация $\frac{Cv}{Cv}$	pH $\frac{Cv}{Cv}$	Цветность $\frac{Cv}{Cv}$	Биохроматная окисляемость $\frac{Cv}{Cv}$	Нитритный азот $\frac{Cv}{Cv}$	Минеральный фосфор $\frac{Cv}{Cv}$	Общее железо $\frac{Cv}{Cv}$
Река Вуокса							
Зима	$\frac{47,60}{0,11}$	$\frac{6,45}{0,02}$	$\frac{29,83}{0,18}$	$\frac{20,21}{0,16}$	$\frac{0,003}{1,55}$	$\frac{0,01}{1,35}$	$\frac{0,10}{1,16}$
Весна	$\frac{47,12}{0,05}$	$\frac{6,63}{0,02}$	$\frac{31,67}{0,14}$	$\frac{20,78}{0,20}$	Н. п	$\frac{0,01}{0,39}$	$\frac{0,09}{0,41}$
Лето	$\frac{49,56}{0,06}$	$\frac{6,42}{0,03}$	$\frac{27,10}{0,22}$	$\frac{21,69}{0,20}$	Н. п	$\frac{0,01}{0,23}$	$\frac{0,06}{0,35}$
Осень	$\frac{45,39}{0,25}$	$\frac{6,56}{0,02}$	$\frac{27,00}{0,18}$	$\frac{17,84}{0,19}$	Н. п	$\frac{0,01}{0,58}$	$\frac{0,06}{0,61}$
Река Паша							
Зима	$\frac{145,00}{0,14}$	$\frac{6,95}{0,02}$	$\frac{53,17}{0,29}$	$\frac{22,05}{0,28}$	$\frac{0,01}{0,31}$	$\frac{0,01}{0,26}$	$\frac{0,69}{0,26}$
Весна	$\frac{28,98}{0,10}$	$\frac{6,29}{0,02}$	$\frac{59,83}{0,24}$	$\frac{25,00}{0,34}$	Н. п	$\frac{0,03}{0,19}$	$\frac{0,32}{0,70}$
Лето	$\frac{102,47}{0,25}$	$\frac{6,99}{0,04}$	$\frac{72,67}{0,49}$	$\frac{34,33}{0,36}$	Н. п	$\frac{0,02}{0,37}$	$\frac{0,50}{0,66}$
Осень	$\frac{57,92}{0,07}$	$\frac{6,71}{0,02}$	$\frac{115,33}{0,10}$	$\frac{42,00}{0,30}$	Н. п	$\frac{0,01}{0,24}$	$\frac{0,76}{0,48}$
Река Оредеж							
Зима	$\frac{443,25}{0,04}$	$\frac{7,42}{0,03}$	$\frac{24,33}{0,63}$	$\frac{22,58}{0,64}$	$\frac{1,67}{1,72}$	$\frac{0,03}{0,45}$	$\frac{0,34}{0,54}$
Весна	$\frac{144,67}{0,05}$	$\frac{7,17}{0,02}$	$\frac{93,00}{0,05}$	$\frac{45,73}{0,66}$	$\frac{0,86}{1,04}$	$\frac{0,02}{0,74}$	$\frac{0,36}{0,27}$
Лето	$\frac{291,00}{0,25}$	$\frac{7,44}{0,04}$	$\frac{76,75}{0,77}$	$\frac{39,56}{0,48}$	$\frac{0,25}{2,15}$	$\frac{0,02}{0,36}$	$\frac{0,25}{0,72}$
Осень	$\frac{272,00}{0,19}$	$\frac{7,38}{0,02}$	$\frac{114,00}{0,43}$	$\frac{39,25}{0,32}$	$\frac{0,36}{1,66}$	$\frac{0,02}{0,67}$	$\frac{0,49}{0,40}$

Примечание: Н. п. – ниже порога обнаружения или не определялось

Согласно данным, представленным в табл. 6, сезонная изменчивость величины общей минерализации (увеличение минерализации в меженные периоды и уменьшение в весеннее половодье и осенний паводок) наиболее четко выражена для рек Ордеж, Вруда и Сиса со значительной долей грунтового питания (рис. 5), наименее - для зарегулированной р. Вуокса.

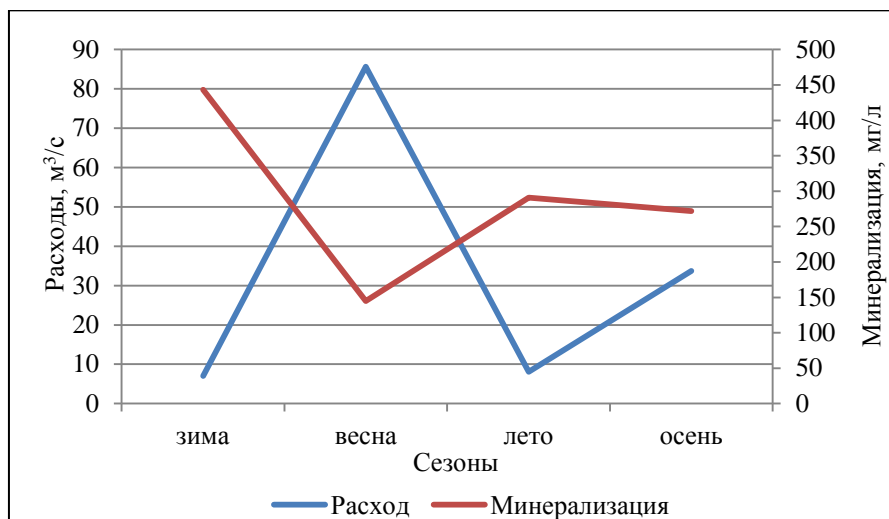


Рис 5. Совмещенные гидрограф и хемограф р. Ордеж за 1985 – 1987 гг.

На основе построения совмещенных гидрографов и хемографов для разных рек за разные годы наблюдений установлены типы гидрохимического режима для исследованных рек. В качестве примера на рис. 6 представлены совмещенные гидрограф и хемограф р. Паша за 1985 г.

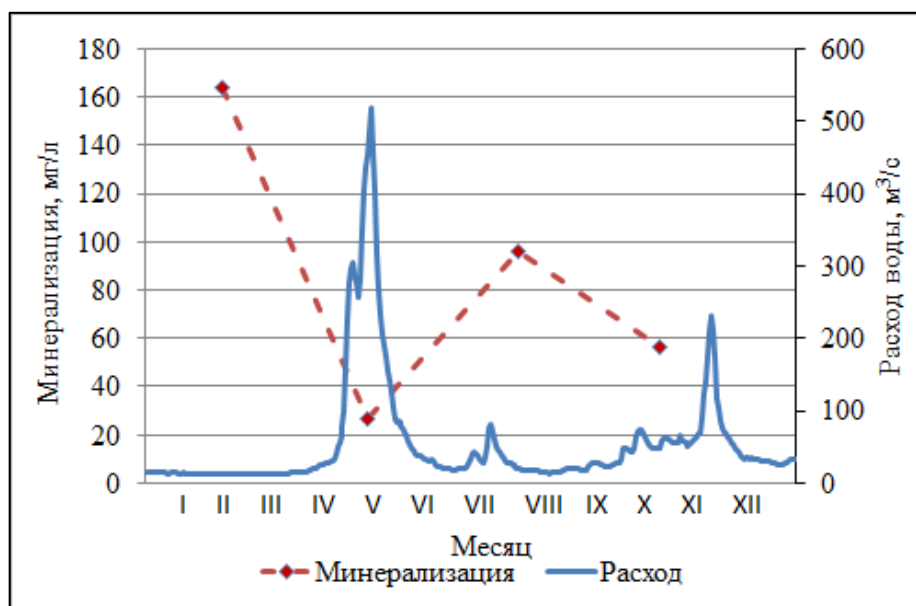


Рис 6. Совмещенные гидрограф и хемограф р. Паша – д. Часовенское за 1985 г.
(многоводный)

Таким образом, реки рассматриваемого района относятся к Восточно-Европейскому типу гидрохимического режима – максимум на графике расходов совпадает с минимумом на кривой минерализации (Никаноров, 2001).

В соответствии с данными табл. 6, сезонная изменчивость содержаний биогенных элементов отличается для рек разного типа. Так, для р. Вуокса содержание биогенных элементов и органического вещества находится в разные сезоны на одном уровне с незначительным увеличением по нитритному азоту в зимний период. Для р. Оредеж установлен устойчивый максимум по азоту и фосфору в зимний период на фоне некоторого спада в остальные сезоны. Для содержаний органического вещества и общего железа сезонная изменчивость носит обратный характер: максимальные значения регистрируются в периоды весеннего половодья и осенних паводков. Наибольшая вариабельность значений по цветности ($C_v = 0,77$) характерна для меженных периодов. Для р. Паша с сильно заболоченным водосбором установлен устойчивый осенний максимум содержаний общего железа и органического вещества (по цветности и ХПК) в период осеннего паводка на фоне резкого снижения в весеннее половодье. Необходимо отметить, что как внутрисезонная, так и внутригодовая изменчивость содержаний биогенных элементов и органического вещества достаточно высокая, о чем свидетельствуют значения C_v , превышающие единицу (табл. 6).

Итак, сезонная изменчивость химических компонентов зависит в первую очередь от фазы водности (половодье, паводки или межень) и, во-вторых, от концентрации того или иного вещества. Как выяснилось, для общей минерализации характерен максимум в меженные периоды, а минимальные значения – для периодов максимального стока. Аналогичная ситуация наблюдается для цветности, общего железа и нитритного азота. Для бихроматной окисляемости максимальные значения приходятся на летне-осенний период, а для биогенных элементов – минерального фосфора – зимний период.

Глава 4. Сток растворенных химических веществ

4.1. Годовой сток растворенных химических веществ

Сток растворенных химических веществ является базовой характеристикой, которая учитывается при различных проектных мероприятиях, таких как прокладка газопроводов, сельскохозяйственные мероприятия и другие, а также является показателем загрязненности природных вод.

Сток растворенных веществ состоит из органических и неорганических компонентов, находящихся в ионно-молекулярном и коллоидном состоянии. Этот сток можно также разделить на сток главных ионов (ионный), органических, биологических и загрязняющих веществ. Сток растворенных веществ имеет зональный характер, а также различается на высотных поясах и зависит от местных факторов (Заславская, 2015).

В основу анализа положены опубликованные материалы гидрометеорологической службы за два периода (1960 – 1962 гг. и 1985 – 1987 гг.) за главными гидрохимическими показателями (общая минерализация), органическими веществами (бихроматная окисляемость), биогенными веществами (фосфор общий, нитратный азот, железо), загрязняющими веществами (нефтепродукты и СПАВ) и тяжелыми металлами (Cu, Mn). По имеющимся данным была составлена база данных с использованием пакета программ Microsoft Office (Приложение 2).

Сток растворенных химических веществ оценивался на примере рек Вуокса, Паша и Оредеж, как наиболее характерных рек из каждой группы, и по которым имелось достаточное число наблюдений. Были установлены значения модулей ионного стока, стока органических веществ, стока биогенных элементов и стока загрязняющих веществ. Расчет годового стока растворенных веществ проводился отдельно по для каждой реки по формуле (Никаноров, 2001):

$$P = Q \cdot K \cdot \frac{\tau}{1000000},$$

где Q – расход воды, м³/с, K – концентрация химического вещества, мг/л (мкг/л), τ – число секунд в году. Модуль стока вычислялся по формуле (Никаноров, 2001):

$$m = \frac{P}{F},$$

где P – годовой сток растворенных веществ (тонн, кг или г), F – площадь водосбора, км². Полученные данные представлены в разделах 4.1.1. – 4.1.4. в табл. 7 – 10.

4.1.1. Ионный сток

Оценка ионного стока проводилась по данным средних концентраций общей минерализации за годы разной водности. Модули ионного стока представлены в табл. 7.

Таблица 7. Оценка ионного стока рек за годы разной водности

Название водотока	Год	Водность года	Расход, среднегодовой м ³ /с	Площадь водосбора, км ²	Минерализация, мг/л	Модуль стока, т/км ² ·год
Паша	1960	Мнв	39,7	5710	94,9	20,84
Паша	1961		67,6	5710	70,3	26,26
Оредеж			Срв.	21,4	2700	317,1
Паша	1962	Мн.	87,4	5710	57,4	27,73
Оредеж			34	2700	306,1	121,65
Паша	1985	Мнв	52,9	5710	85,3	24,9
Вуокса		Срв.	530	61500	43,4	11,8
Оредеж			22	2700	324,5	83,4
Паша	1986	Мнв	63,9	5710	88,0	31,1
Вуокса		Срв.	522	61500	47,5	12,7
Оредеж		Мнв.	29,4	2700	284,5	97,8
Паша	66,2		5710	81,2	29,7	
Вуокса	651		61500	50,6	16,9	
Оредеж	33,6		2700	254,0	99,7	

Примечание: Мнв. – многоводный год, Срв. – средневодный год.

Согласно представленным данным в табл. 7 данным можно выделить три группы рек по значениям показателей ионного стока: минимальные значения (11 – 17 т/км²) установлены – для рек первой группы (р. Вуокса), средние значения (20 – 30 т/км²) – для рек второй группы (Оять – Паша – Сясь), максимальные значения (100 – 120 т/км²) – для рек третьей группы (Вруда – Оредеж – Систа).

На основе сопоставления показателей ионного стока ($P_{и}$) в годы разной водности установлена закономерность увеличения $P_{и}$ с увеличением водности. Так, для реки Оредеж для средневодного (1961 г.) показатели ионного стока составляют 79 – 84 т/км², а для многоводного 100 – 120 т/км². Аналогичная зависимость установлена и для р. Вуоксы: для лет средней водности (1985 – 1986 гг.) значения ионного стока колебались в пределах 12 т/км², а для многоводных лет увеличивались до 17 т/км². Значимых различий показателей ионного стока за два периода наблюдений не выявлено.

4.1.2. Сток биогенных элементов

Оценка стока биогенных элементов проводилась по данным средних концентраций по минеральному фосфору, нитратному и аммонийному азоту за годы разной водности.

Модули стока биогенных элементов представлены в табл. 8, значения стока с площади водосбора в табл. 7.

Таблица 8. Оценка стока растворенных биогенных веществ за годы разной водности

Название водотока	Год	Водность	Расход, м ³ /с	Минеральный фосфор		Нитратный азот		Аммонийный азот	
				Концентрация минерального фосфора, мг/л	Модуль стока, кг/км ² ·год	Концентрация нитратного азота, мгN/л	Модуль стока, кг/км ² ·год	Концентрация аммонийного азота, мгN/л	Модуль стока, кг/км ² ·год
Паша	1960	Мнв.	39,7	0,01	2	0,03	7	-	-
Паша	1961		67,6	0,02	7	0,20	70	-	-
Оредеж		Срв.	21,4	0,002	1	0,75	50	-	-
Паша	1962	Мнв.	87,4	0,01	5	0,01	5	-	-
Оредеж			34	0,01	4	3,73	1480	-	-
Паша	1985	Срв.	52,9	0,02	6	0,09	30	0,05	15
Вуокса			530	0,01	3	0,17	50	0,02	5
Оредеж			22	0,02	5	2,08	540	0,06	15
Паша	1986	Мнв.	63,9	0,001	-	0,13	30	0,02	7
Вуокса		Срв.	522	0,01	3	0,13	40	0,02	5
Оредеж		29,4	0,02	7	2,25	770	0,08	27	
Паша	1987	Мнв.	66,2	0,01	4	0,28	100	0,49	179
Вуокса			651	0,01	3	0,18	60	0,03	10
Оредеж			33,6	0,03	12	2,18	860	0,06	24

Примечание: Мнв. – многоводный год, Срв. – средневодный год.

Согласно данным табл. 8, значения стока минерального фосфора подразделяются на три группы: наибольшие значения установлены для рек, принадлежащих бассейну Финского залива (Вруда, Оредеж), колеблющиеся в пределах 1 – 12 кг/км², средние – для рек бассейна Ладожского озера (Оять – Паша – Сясь) – 2 -7 кг/км², а минимальные значения характерны для рек Карелии и Карельского перешейка (Вуокса) – 3кг/км². При этом максимальный вынос фосфора регистрируется в многоводные годы. Установлено значительное увеличение выноса фосфора в 80-ые годы (до 12 кг/км²) по сравнению с 60-ми (до 1 кг/км²).

Аналогичные закономерности установлены и для пространственно-временного распределения стока нитратного азота исследованных рек. Для рек первой группы

(Вуокса) установлены минимальные значения, колеблющихся в интервале 50 – 60 кг/км², которые являются фоновыми для исследуемой территории. Наибольшие значения модуля стока нитратного азота установлены для рек третьей группы (Вруда – Оредеж – Систа) – 500 – 1500 кг/км², что значительно превышает региональный фон и свидетельствует о внесении большого количества азотных удобрений. Установлено многократное увеличение модуля стока нитратного азота в 60-ые годы (до 50 кг/км²) по сравнению с 80-ми (до 860 кг/км²).

По аммонийному азоту максимальные значения модуля стока наблюдаются для рек бассейна Ладожского озера (Оять – Паша – Сясь) – 179 кг/км², что обусловлено увеличением выноса аммония с болотных водосборов этих рек. Повышенные значения стока аммония выявлены и для р. Оредеж (15 – 30 кг/км²), где верховье бассейна сильно заболочено. Вынос аммония так же, как и других биогенных элементов увеличивается в многоводные годы.

4.1.3. Сток органических веществ

Оценка стока органических веществ исследуемых рек проведена по данным среднегодовых значений бихроматной окисляемости (ХПК) за годы разной водности для двух периодов наблюдений (табл. 9).

Таблица 9. Оценка стока органических веществ и общего железа за годы разной водности

Название водотока	Год	Водность	Расход, м ³ /с	Бихроматная окисляемость		Общее железо	
				Бихроматная окисляемость, мгО/л	Модуль стока, т/км ² ·год	Концентрация железа, мгFe/л	Модуль стока, кг/км ² ·год
Паша	1960	Мнв.	39,7	33,26	5,47	0,35	80
Паша	1961		67,6	35,4	9,92	0,5	190
Оредеж		Срв.	21,4	30,75	5,77	0,19	50
Паша	1962	Мнв.	87,4	38,69	14,02	0,67	320
Оредеж			34	24,6	7,33	0,37	150
Паша	1985	Срв.	52,9	33,29	7,30	0,8	230
Вуокса			530	21,95	4,48	0,11	30
Оредеж			22	28,29	5,46	0,27	70
Паша	1986	Мнв.	63,9	27,63	7,32	0,34	120
Вуокса		Срв.	522	19,16	3,85	0,08	20
Оредеж		Мнв.	29,4	22	5,67	0,39	130
Паша	66,2		31,63	8,68	0,56	200	
Вуокса	651		19,89	4,98	0,06	20	
Оредеж	1987	33,6	39,5	11,63	0,49	190	

Примечание: Мнв. – многоводный год, Срв. – средневодный год.

Согласно данным табл. 9 максимальное значение стока органических веществ установлено для рек бассейна Ладожского озера с сильно заболоченными (40 – 50 %) водосборами. Так, в р. Паша показатель P_c достигает значений 5 – 14 т/км², что в 2 – 7 раз превышает среднефоновые показатели стока органического вещества по России (Мальцева, 1987). Минимально значение характерно для рек Карельского перешейка. Так, в р. Вуокса показатель P_c колеблется в пределах 3 – 5 т/км², в зависимости от водности года. В средневодные годы (1985 г.) модуль стока составлял 3,9 т/км², а в многоводные годы (1987 г.) - до 5 т/км².

Для общего железа максимальные значения стока наблюдаются в реках второй группы (Оять – Паша – Сясь). Так, для р. Паша P_{Fe} достигает 100 – 320 кг/км², что в 1,5 – 2 раза превышает фоновые содержания, что также обусловлено высокой заболоченностью водосборов. Для рек Карелии и Карельского перешейка характерны

минимальные значения выноса общего железа (р. Вуокса $P_{Fe} = 20 - 30 \text{ кг/км}^2$) на фоне равномерного распределения в годы разной водности. Для многолетней изменчивости стока общего железа установлено значительное увеличение выноса железа для рек бассейна Финского залива (Вруда, Оредеж): в 1960-е годы. $P_{Fe} = 50 - 150 \text{ т/км}^2$ по сравнению с 1980-ми. – $70 - 200 \text{ т/км}^2$.

4.1.4. Сток загрязняющих веществ

Оценка стока загрязняющих веществ исследуемых рек проведена по данным среднегодовых значений концентраций нефтепродуктов, СПАВ, меди и марганца исследуемых рек за годы разной водности в период интенсивной антропогенной нагрузки – 1985 – 1987 гг. (табл. 10).

Таблица 10. Оценка стока загрязняющих веществ за годы разной водности

Название водотока	Год	Водность	Расход, м ³ /с	Нефтепродукты		СПАВ		Медь (Cu)		Марганец (Mn)	
				Концентрация нефтепродуктов	Модуль стока, кг/км ² ·год	Концентрация СПАВ	Модуль стока, кг/км ² ·год	Концентрация меди, мгCu/л	Модуль стока, г/км ² ·год	Концентрация марганца, мгMn/л	Модуль стока, г/км ² ·год
Паша	1985	Мнв.	52,9	0,11	30	0,02	6	3,43	1,00	28,67	8,38
Вуокса		Срв.	530	0,14	40	0,01	3	5,54	1,51	4,9	1,33
Оредеж			22	0,34	90	0,01	3	2,07	0,53	2,9	0,75
Паша	1986	Мнв.	63,9	0,11	40	0,04	14	1,73	0,61	13,4	4,73
Вуокса		Срв.	522	0,31	80	0,03	8	2,34	0,63	7,87	2,11
Оредеж			29,4	0,02	10	0,01	3	3,5	1,20	17,53	6,02
Паша	1987	Мнв.	66,2	-	-	0,02	7	3,3	1,21	8,45	3,09
Вуокса			651	0,17	60	0,02	7	2,49	0,83	8,45	2,82
Оредеж			33,6	0,34	130	0,02	8	2,95	1,16	20,18	7,92

Примечание: Мнв. – многоводный год, Срв. – средневодный год.

Согласно данным табл. 10 наибольший показатель стока нефтепродуктов установлен для рек Вуоксы ($P_{н/п} = 40 - 90 \text{ кг/км}^2$) и Оредежи ($P_{н/п} = 10 - 130 \text{ кг/км}^2$). Возможно, это связано сточных вод различных предприятий, действующих на водосборной территории этих рек.

Максимальные значения выноса СПАВ установлены для рек бассейна Ладожского озера ($P_{СПАВ} = 6 - 14$ кг/км²), что обусловлено сбросом сточных ЦБК на территории Сясьстроа.

Значения модулей стока меди исчисляются г/км² и варьируют в интервале $P_{Cu} = 0,53 - 1,51$ г/км² (р. Вуокса) и $0,5 - 1,2$ г/км² (р. Оредеж) с выраженной тенденцией увеличения стока меди в многоводные годы.

Максимальные значения модулей стока марганца зафиксированы для рек второй и третьей групп и составляют $4,7 - 8,4$ г/км² с тенденцией увеличения в многоводные годы.

Таким образом, межгодовые колебания модулей стока растворенных веществ определяются водностью года и концентрацией растворенного вещества, зависящей от естественных (наличие карста, высокая заболоченность водосборов) и антропогенных (зарегулированность речного стока, сброс сточных вод) факторов.

4.2. Сезонный сток растворенных химических веществ

Оценка сезонной изменчивости стока растворенных элементов проводилась на основе расчета стока растворенных веществ по данным средних сезонных концентраций веществ для исследованных рек за годы разной водности. Расчет проводился за два периода наблюдений для разнотипных рек – Паша, Вуокса и Оредеж. Результаты расчета представлены в Приложениях 3 – 6. В качестве примера в таблицах 15 – 19 приведены сезонные значения модулей ионного стока, стока органических веществ, стока биогенных элементов и загрязняющих веществ исследуемых рек за 1985 г., являющийся многоводным для р. Паши и средневодным – для рек Вуокса и Оредеж.

4.2.1. Сезонная изменчивость ионного стока

Оценка сезонного ионного стока проводилась по средним сезонным концентрациям общей минерализации. Полученные результаты представлены в табл. 11 и на рис. 7 – 8.

Таблица 11. Оценка сезонного распределения ионного стока для исследуемых рек за 1985 г.

Сезон	Расход, м ³ /с	Площадь водосбора, км ²	Минерализация, мг/л	Модуль стока, т/км ²
Река Паша (многоводный)				
Зима	18,9	5710	164	17,1
Весна	107		30,1	17,8
Лето	26,7		88,85	13,1
Осень	59,4		58,2	19,1
Река Вуокса (средневодный)				
Зима	544	61500	43,48	12,1
Весна	510		39,03	10,2
Лето	549		44,55	12,6
Осень	513		46,7	12,3
Река Оредеж (средневодный)				
Зима	9,9	2700	455,5	52,4
Весна	37,6		149	65,5
Лето	13,1		320	48,9
Осень	27		288	90,9

Согласно данным табл. 11 для большинства исследуемых рек максимальные значения ионного стока зарегистрированы в периоды осенних паводков: 17 т/км² (р. Паша) и 91 т/км² (р. Оредеж), минимальные – в периоды летней межени 13т/км² (р. Паша) и 48т/км² (р. Оредеж) – рис. 7 – 8.

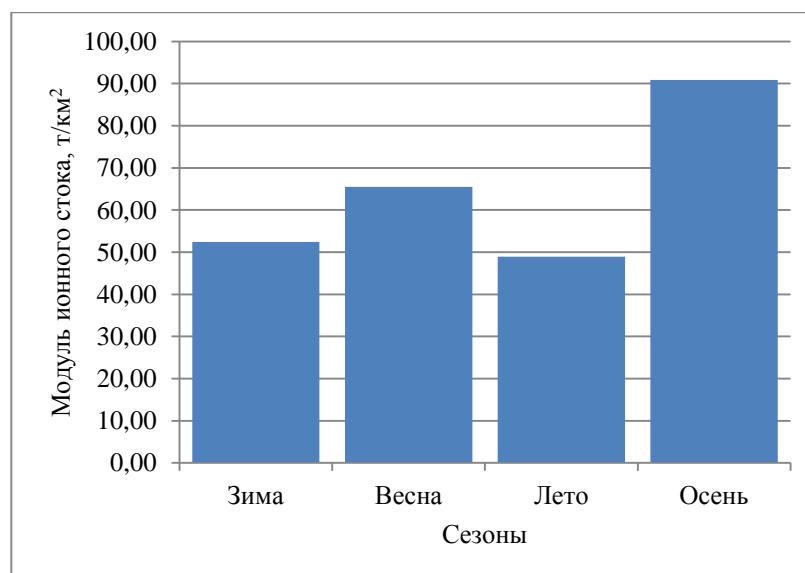


Рис 7. Сезонный ход модуля ионного стока для р. Оредеж за 1985 год средней водности
Для зарегулированной р. Вуоксы сезонный ход ионного стока носит сглаженный характер и не выявляет значительных сезонных различий величины $P_{и}$ (рис. 8).

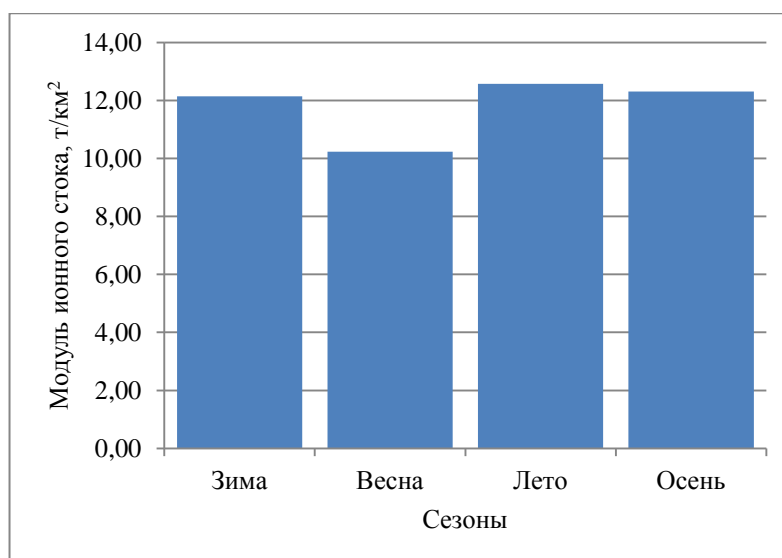


Рис 8. Сезонный ход модуля ионного стока для р. Вуокса за 1985 год средней водности

4.2.2. Сезонный сток биогенных элементов

Оценка сезонной изменчивости стока биогенных веществ проводилась по средним сезонным концентрациям минерального фосфора и нитратного и аммонийного азотов. Полученные результаты приведены в табл. 12 и на рис. 9 – 10. Как видно из представленных данных, для модулей стока минерального фосфора наиболее выражена сезонная изменчивость для р. Оредеж среди выбранных рек. Максимальный вынос данного вещества наблюдается весной ($P_P = 18 \text{ кг/км}^2$), а минимальные в меженные периоды – зимой и летом ($P_P = 3 \text{ кг/км}^2$). Аналогичная закономерность установлена и для р. Паша, тогда как для зарегулированной р. Вуоксы четких сезонных изменений для стока минерального фосфора не выявлено.

Аналогичная сезонная изменчивость характерна и для стока нитратного азота. Максимальные значения модулей стока, как было установлено, совпадает с фазами максимальных расходов воды – весной и осенью – $P_{NO_3} = 710 \text{ кг/км}^2$, а минимальные – зимой и летом – $P_{NO_3} = 240 \text{ кг/км}^2$ (рис. 9).

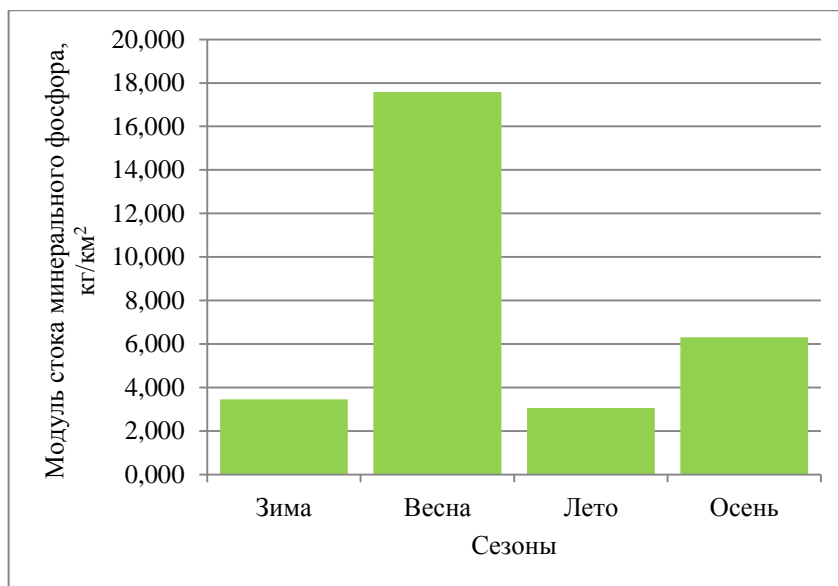


Рис 9. Сезонный ход модуля стока минерального фосфора на примере р. Оредеж за 1985 г. (средневодный)

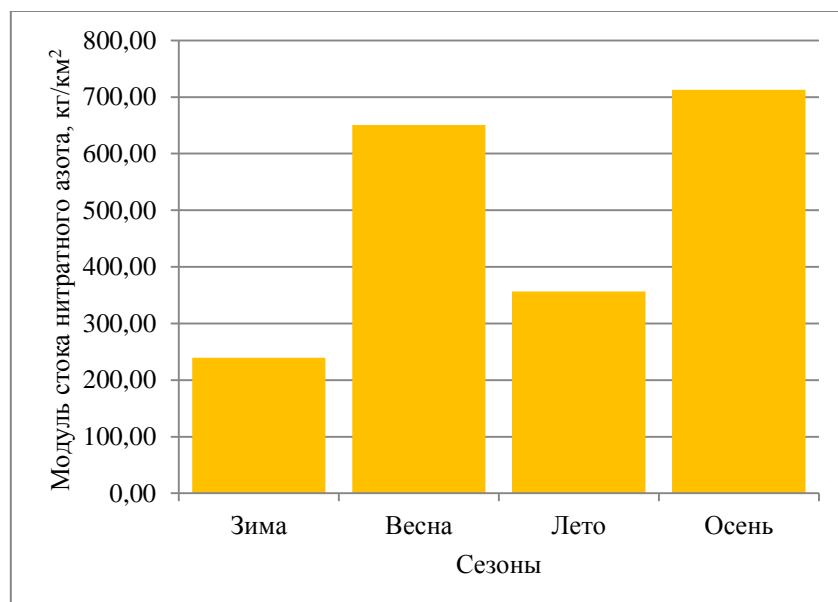


Рис 10. Сезонный ход модуля стока нитратного азота на примере р. Оредеж за 1985 г. (средневодный)

Сезонная изменчивость стока аммонийного азота наиболее выражена для р. Оредеж: в периоды весеннего половодья, осенних паводков и зимней межени наблюдаются максимальные модули стока по $NH_4 - P_{NH_4} = 13 - 18 \text{ кг/км}^2$, а минимальные – в период летней межени $P_{NH_4} = 5 \text{ кг/км}^2$.

Таблица 12. Оценка сезонного стока растворенных биогенных веществ рек за 1985 г.

Сезон	Расход, м ³ /с	Общий фосфор		Нитратный азот		Аммонийный азот	
		Концентрация общего фосфора, мгР/л	Модуль стока, кг/км ²	Концентрация нитратного азота, мгN/л	Модуль стока, кг/км ²	Концентрация аммонийного азота, мгN/л	Модуль стока, кг/км ²
Река Паша (многоводный)							
Зима	18,9	0,02	2	0,21	20	0,1	10
Весна	107	0,03	18	0,08	50	0,02	12
Лето	26,7	0,02	3	0,035	10	0,01	1
Осень	59,4	0,01	3	0,06	20		
Река Вуокса (средневодный)							
Зима	544,33	0,01	3	0,16	40	-	-
Весна	510,73	0,02	5	0,25	70	0,03	8
Лето	549,96	0,01	3	0,12	30	0,03	8
Осень	513,57	0,01	3	0,17	40	0,03	8
Река Оредеж (средневодный)							
Зима	9,85	0,03	3	2,08	240	0,13	15
Весна	37,6	0,04	18	1,48	350	0,04	18
Лето	13,08	0,02	3	2,33	360	0,03	5
Осень	26,99	0,02	6	2,26	710	0,04	13

4.2.3. Сезонный сток органических веществ

Сезонная изменчивость стока органических веществ проведена на основе расчета средних сезонных значений величины бихроматной окисляемости для рек различных групп за 1985год (табл. 13, рис. 11).

Таблица 13. Оценка сезонного стока органических веществ рек за 1985 г.

Сезон	Расход, м ³ /с	Бихроматная окисляемость		Общее железо	
		Бихроматная окисляемость, мгО/л	Модуль стока, т/км ²	Концентрация железа, мгFe/л	Модуль стока, кг/км ²
Река Паша (многоводный)					
Зима	18,9	18,65	1,95	0,75	80
Весна	107	22	13,01	0,6	35
Лето	26,7	42	6,20	0,64	90
Осень	59,4	50,5	16,58	1,22	40
Река Вуокса (средневодный)					
Зима	544,33	19,33	5,40	0,19	50
Весна	510,73	20,73	5,43	0,08	20
Лето	549,96	27,5	7,76	0,08	20
Осень	513,57	20,25	5,34	0,09	20
Река Оредеж (средневодный)					
Зима	9,85	12,15	1,40	0,24	30
Весна	37,6	35,2	15,47	0,34	150
Лето	13,08	26,6	4,07	0,16	20
Осень	26,99	43,5	13,72	0,42	130

По рассчитанным данным табл. 13 было установлено, что наиболее выраженный ход модулей стока органического вещества наблюдается для рек с высокой степенью заболоченности водосборов (рис. 11). Так, для р. Паша максимальные значения ($P_c = 16,6$ т/км²) характерны для осеннего периода, а минимальные – для зимнего ($P_c = 1,95$ т/км²). Аналогичный ход стока органического вещества наблюдается и для рек бассейна Финского залива. Наименее всего распределение стока органических веществ по сезонам выявлено для зарегулированных рек (р. Вуокса).

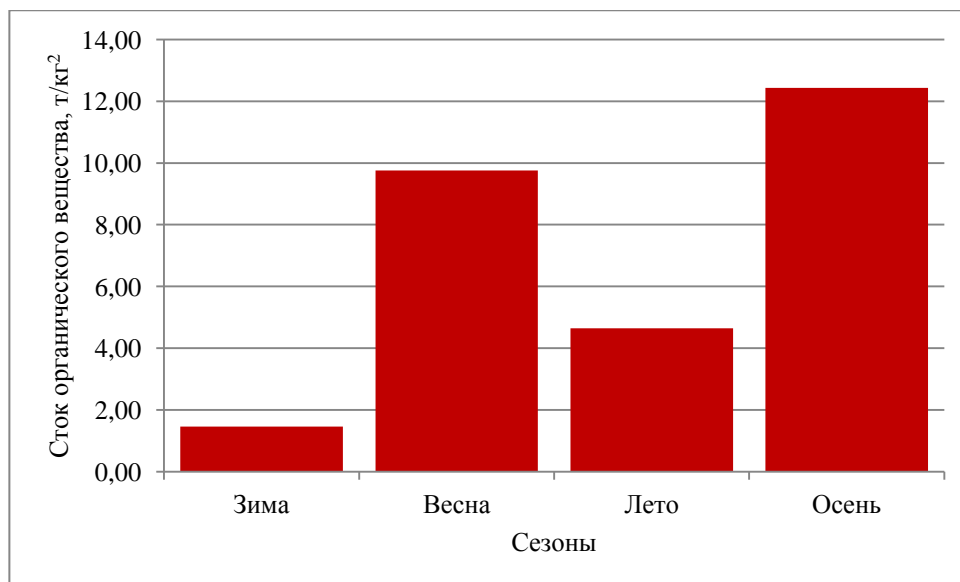


Рис 11. Сезонный ход модуля стока органического вещества на примере р. Паша за 1985 г. (многоводный)

Максимальные значения модулей стока общего железа отмечаются в фазы максимальных расходов воды – в весенний и осенний периоды ($P_{Fe} = 80 - 90 \text{ кг/км}^2$), а минимальные – в меженные периоды ($P_{Fe} = 35 - 40 \text{ кг/км}^2$).

4.2.4. Сезонный сток загрязняющих веществ

Оценка сезонного стока загрязняющих веществ проводилась на основе расчета средних сезонных концентраций нефтепродуктов, СПАВ и меди. Полученные результаты приведены в табл. 14, и на рис. 12 – 13.

Таблица 14. Оценка сезонного стока загрязняющих веществ исследуемых рек за 1985 г.

Сезон	Расход, м ³ /с	Нефтепродукты		СПАВ		Медь (Cu)	
		Концентрация нефтепродуктов	Модуль стока, кг/км ²	Концентрация СПАВ	Модуль стока, кг/км ²	Концентрация меди, мг/л	Модуль стока, кг/км ²
Река Паша (многоводный)							
Зима	18,9	-	-	-	-	2,8	0,29
Весна	107	0,16	90	0,02	12	9	5,32
Лето	26,7	0,1	10	0,03	4	0,95	0,14
Осень	59,4	0,08	30		2	3,75	1,23
Река Вуокса (средневодный)							
Зима	544,33	0,14	40	0,01	3	7,48	2,09
Весна	510,73	-	-	-	-	10	2,62
Лето	549,96	-	-	0,02	6	1,8	0,51
Осень	513,57	-	-	0,02	5	4,35	1,15
Река Оредеж (средневодный)							
Зима	9,85	-	-	-	-	-	-
Весна	37,6	0,2	90	-	-	-	-
Лето	13,08	0,47	70	0,01	2	3	0,46
Осень	26,99	-	-	0,02	6	1,6	0,50

Среди приоритетных загрязняющих веществ наиболее выраженный сезонный ход установлен для модулей стока по нефтепродуктам и меди по р. Паша. Для модуля стока нефтепродуктов (рис. 12) максимальные значения зафиксированы для весеннего периода ($P_{н/п} = 90$ кг/км²), а минимальные летом – 90 кг/км².

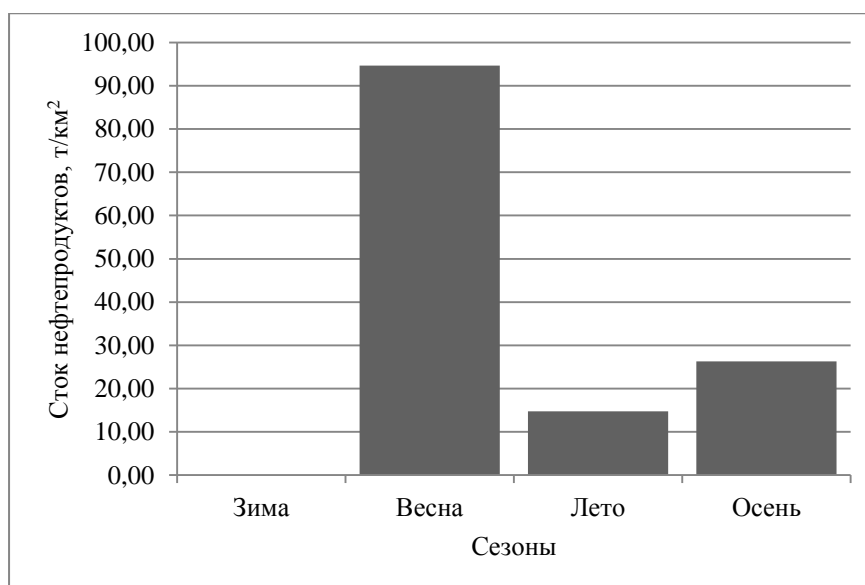


Рис 12. Сезонный ход модуля стока нефтепродуктов на примере р. Паша за 1985 г. (многоводный)

Для стока меди максимальный вынос вещества наблюдается в периоды весеннего половодья ($P_{Cu} = 5,32 \text{ кг/км}^2$) и осенних паводков ($P_{Cu} = 1,23 \text{ кг/км}^2$), а минимальный – в летнюю межень ($P_{Cu} = 0,14 \text{ кг/км}^2$).

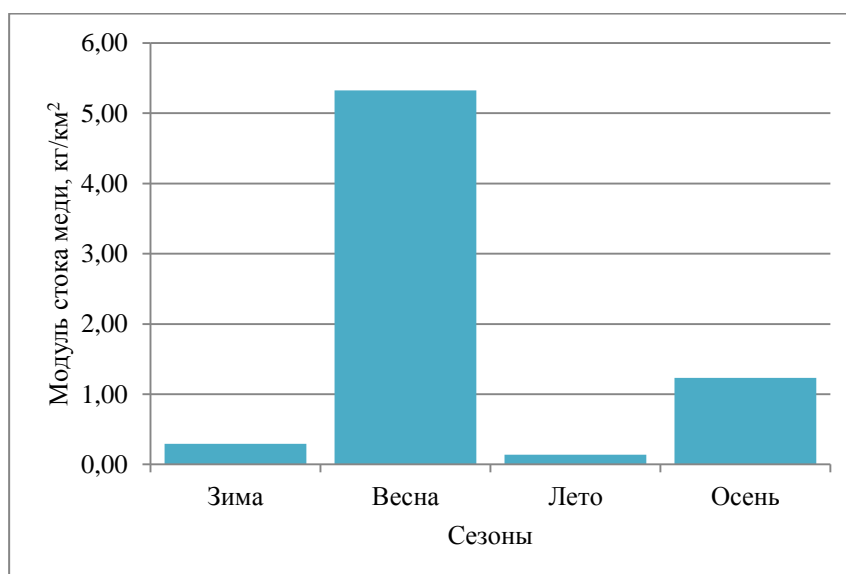


Рис 13. Сезонный ход модуля стока меди на примере р. Паша за 1985 г. (многоводный)

Подводя итог, можно сделать вывод о том, что для разных химических веществ сезонные изменения стока имеют различный характер. Так для минеральных и биогенных веществ максимальный вынос наблюдается в периоды весенних половодий и осенних паводков, органических веществ и общего железа - в период осенних паводков, загрязняющих веществ – в периоды весеннего половодья при минимальных значениях в меженные периоды.

Глава 5. Оценка изменения качества воды по загрязняющим веществам

5.1. Основные виды хозяйственного освоения водосборов рек

Карелия и Северо-Запад располагают уникальными водными ресурсами, которые используются в сельском хозяйстве, в производстве электроэнергии, судоходстве, водоснабжения, в качестве приемников осушительных систем и сточных вод. К сожалению, за последние годы произошли многочисленные изменения качественного состава речных вод под влиянием усиливающейся антропогенной нагрузки. Поэтому в последнее время становится актуальной оценка степени загрязненности поверхностных вод различными веществами (Ресурсы, 1972).

Так, можно выделить источники загрязнения для каждой группы рек. Для рек Вуокса – Лососинка постройка ГЭС сказалась на отсутствии выраженной изменчивости по всем компонентам. Реки Оять – Паша – Сясь имеют повышенное содержание органического углерода с превышением ПДК по ХПК (более 15 мгО/л). Кроме того, негативное воздействие оказывает мелиорация болот, которая ведет к нарушению гидрологического режима, последующему снижению урожайности из-за потери питательного слоя почвы, обнажению горных пород и нарушению мест произрастания и обитания флоры и фауны. Для рек Вруда – Оредеж – Систа выявлено многократное превышение ПДК по нитритному азоту, что связано с внесением минеральных удобрений на территории, освоенных под сельское хозяйство.

Поэтому в данной работе является важной оценка степени загрязненности рек по ИЗВ и УКИЗВ (удельный комбинаторный индекс загрязнения вод), представленная в разделе 5.2.

5.2. Интегральная оценка степени загрязненности рек по ИЗВ, коэффициенту комплексности и УКИЗВ

Статистическая оценка изменения качества воды по загрязняющим веществам производилась на основе расчетов среднесезонных концентраций загрязняющих веществ и их коэффициентов вариации по нефтепродуктам, СПАВ и тяжелым металлам (медь и марганец). Результаты расчетов представлены в Таблице 15.

Таблица 15. Среднегодовое значения загрязняющих веществ по всем группам рек за период 1985 – 1987 гг.

Группа рек	Период	Нефтепродукты (ПДК = 0,05)		Нитритный азот (ПДК = 0,02 мгN/л)		Медь (ПДК = 0,001 мкгCu/л)		Марганец (ПДК = 0,01 мкгMn/л)	
		N	$\frac{\text{Диапазон фона}}{Cv}$	N	$\frac{\text{Диапазон фона}}{Cv}$	N	$\frac{\text{Диапазон фона}}{Cv}$	N	$\frac{\text{Диапазон фона}}{Cv}$
1	1985 – 1987	41	$\frac{0,25 \pm 0,08}{1,09}$	32	$\frac{0,004 \pm 0,003}{1,89}$	53	$\frac{3,05 \pm 0,59}{0,86}$	51	$\frac{9,61 \pm 1,48}{0,84}$
2		13	$\frac{0,20 \pm 0,05}{0,70}$	12	$\frac{0,01 \pm 0,003}{0,70}$	43	$\frac{2,84 \pm 0,64}{0,89}$	38	$\frac{13,62 \pm 4,23}{1,13}$
3		7	$\frac{0,23 \pm 0,14}{0,93}$	16	$\frac{0,10 \pm 0,57}{2,58}$	12	$\frac{2,66 \pm 0,98}{0,73}$	9	$\frac{15,46 \pm 11,35}{1,20}$

Примечание: 1 – Вуокса – Лососинка, 2 – Оять – Паша – Сясь, 3 – Вруда – Оредеж – Систа; N – число членов выборки.

Согласно данным табл. 15 нефтяное загрязнение характерно для всех групп рек, и концентрации нефтепродуктов колеблются в пределах 0,20 – 0,25 мг/л. Также отмечается загрязнение тяжелыми металлами: медью и марганцем. Наиболее загрязнены медью реки Вуокса – Лососинка (3,05 мгCu/л), марганцем – Вруда – Оредеж – Систа (15,46 мгMn/л).

Превышение ПДК по нитритному азоту имеет место только для рек Вруда и Оредеж (5 ПДК), т.к. на их водосборные территории вносится большое количество нитратных удобрений (калийная и аммиачная селитры).

Стоит отметить, что по всем рекам наблюдается превышение ПДК по меди: Вуокса – Лососинка (3 ПДК), Оять – Паша – Сясь (2,8 ПДК), Вруда – Оредеж – Систа (2,6 ПДК).

Кроме того, превышение ПДК по марганцу наблюдается в группах рек Оять – Паша – Сясь (1,4 ПДК) и Вруда – Оредеж – Систа (1,5 ПДК), что, очевидно, связано с региональной геохимической спецификой их водосборных территорий.

В соответствии с данными табл. 15 установлено, что значения всех приоритетных загрязняющих веществ сильно вариабельны. Например, наибольший разброс значений по нефтепродуктам зафиксирован для рек Карельского перешейка и Карелии ($Cv =$

1,09), по нитритному азоту – реки бассейна Финского залива ($C_v = 2,58$), по меди и марганцу – реки с высокой заболоченностью водосборов ($C_v = 0,89$).

Сопоставление гидрохимических данных с 1985 по 1987 гг. с величинами ПДК (Перечень, 1999) позволил выявить приоритетные загрязняющие вещества для каждой группы рек и сравнить их концентрации с ПДК (табл. 16).

Таблица 16. Кратность превышения ПДК среднегодовых концентраций приоритетных загрязняющих веществ для всех групп рек за 1985 – 1987 гг.

№	Компонент	Кратность превышения ПДК	Число превышений
Вуокса – Лососинка			
1	Бихроматная окисляемость (ХПК)	1,2 ПДК	80
2	БПК ₅	1,2 ПДК	50
3	Нефтепродукты	5 ПДК	41
4	Общее железо (Fe)	1,9 ПДК	27
5	Медь (Cu)	3 ПДК	45
Оять – Паша – Сясь			
1	Бихроматная окисляемость (ХПК)	2,1 ПДК	53
2	Нефтепродукты	4 ПДК	13
3	Общее железо (Fe)	5,2 ПДК	54
4	Медь (Cu)	2,8 ПДК	33
5	Марганец (Mn)	1,3 ПДК	17
Вруда – Оредеж - Систа			
1	Бихроматная окисляемость (ХПК)	2,3 ПДК	18
2	Нефтепродукты	4,6 ПДК	5
3	NO ₂	29 ПДК	7
4	Общее железо (Fe)	3,7 ПДК	18
5	Медь (Cu)	2,7 ПДК	10
6	Марганец (Mn)	1,5 ПДК	4

В соответствии с данными табл. 16 для рек Карелии и Карельского перешейка приоритетными являются следующие загрязняющие вещества: бихроматная окисляемость, БПК₅, нефтепродукты, общее железо и медь. Максимальное превышение ПДК обнаружено по нефтепродуктам (5 ПДК) с числом превышений во всех наблюдениях (41). Для рек бассейна Ладожского озера (Оять – Паша – Сясь) приоритетные загрязняющие вещества совпадают с загрязнителями рек Карельского перешейка, однако уже наблюдается превышение ПДК по марганцу (1,3 ПДК).

Для рек Оредеж и Вруда приоритетными веществами являются: ХПК, нефтепродукты, нитритный азот, железо, медь и марганец. Наибольшее превышение ПДК выявлено у нитритного азота (29 ПДК) с числом превышений 7 из 16.

Таким образом, для всех исследованных рек приоритетными загрязняющими веществами являются: бихроматная окисляемость, нефтепродукты, общее железо и медь. Максимальные кратности превышения выявлены для нефтепродуктов (4 – 5 ПДК) и для общего железа (1,9 – 5,2 ПДК). Заметим, что для каждой группы рек можно выделить специфические загрязняющие вещества: для рек Карелии и Карельского перешейка – БПК₅, для группы рек Оять – Паша – Сясь – общее железо, связанное с сильным болотным влиянием, для рек бассейна Финского залива – нитритный азот – интенсификация сельскохозяйственной деятельности с внесением азотных удобрений.

Для комплексной оценки качества поверхностных вод суши использовался индекс загрязненности воды (ИЗВ). Его расчет проводился по формуле (Емельянова, 1983):

$$\text{ИЗВ} = \frac{\sum \frac{C_{1-6}}{\text{ПДК}_{1-6}}}{6}$$

где $\frac{C}{\text{ПДК}}$ – относительная среднегодовая концентрация, 6 – строго лимитируемое количество показателей, берущихся для расчета и имеющих наибольшие относительные среднегодовые концентрации, включая в обязательном порядке БПК₅ и растворенный кислород.

Расчет ИЗВ проводился по рекам Паша, Вуокса и Оредеж для 1985 и 1987 гг. отдельно с учетом различной водности. Фрагмент расчетов ИЗВ представлен в табл. 17. Полный расчет представлен в Приложении 7.

Таблица 17. Расчет индекса загрязнения воды для отдельных рек за 1985 г.

Компонент	Среднегодовая концентрация	ПДК	$\frac{C_i}{ПДК}$	ИЗВ
Река Паша (1985 г. – многоводный)				
БПК5	1,40	2,00	0,70	2,99
O ₂	8,19	6,00	0,73	
Fe	0,80	0,10	8,00	
Cu	3,43	1,00	3,43	
Нефтепродукты	0,11	0,05	2,20	
Mn	28,67	10,00	2,87	
Река Вуокса (1985 г. – средневодный)				
БПК5	1,76	2,00	0,88	1,90
O ₂	10,61	6,00	0,57	
Fe	0,11	0,10	1,10	
Cu	5,54	1,00	5,54	
Нефтепродукты	0,14	0,05	2,80	
Mn	4,90	10,00	0,49	
Река Оредеж (1985 г. – средневодный)				
БПК5	2,01	2,00	1,01	2,54
O ₂	8,91	6,00	0,67	
Fe	0,27	0,10	2,70	
Cu	2,07	1,00	2,07	
Нефтепродукты	0,34	0,05	6,80	
Нитритный азот	0,04	0,02	2,00	

Согласно классификации вод по ИЗВ, воды рек Паша и Оредеж за 1985 г. относятся к загрязненным, а воды р. Вуокса – к умеренно загрязненным.

Дополнительной характеристикой степени загрязненности природных вода является коэффициент комплексности (КК), который рассчитывается по следующей формуле (Методические указания, 2002):

$$КК = \frac{n}{N} \cdot 100\%$$

где n – количество ингредиентов, содержание которых выше ПДК, N – общее количество нормируемых ингредиентов, по которым имеются данные. В Приложении 8

приводится расчет коэффициента комплексности загрязненности воды для рек Паша, Вуокса и Оредеж для 1985 и 1987 гг. В качестве примера был рассмотрен расчет за 1985 г.

По полученным данным коэффициента комплексности (Приложение 8) были рассчитаны следующие статистические показатели за 1985 г. для р. Паша: $K_{cp} = 29,05\%$, $K_{min} = 20 \%$, $K_{max} = 42,86$, $\sigma_K = 11,15$, $\sigma^2 = 124,32$, $m_{K_{cp}} = 0,23$. Для р. Вуокса: $K_{cp} = 20,63\%$, $K_{min} = 10 \%$, $K_{max} = 30$, $\sigma_K = 10,87$, $\sigma^2 = 118,16$, $m_{K_{cp}} = 0,17$. Для р. Оредеж: $K_{cp} = 20,05\%$, $K_{min} = 9,09 \%$, $K_{max} = 40$, $\sigma_K = 14,12$, $\sigma^2 = 199,37$, $m_{K_{cp}} = 0,10$.

По результатам расчета можно сказать, что коэффициенты комплексности для каждой реки находились в интервале 20 – 37 %. Таким образом, качество воды рек Паши, Вуоксы и Оредежи является удовлетворительным.

Важной задачей интегральной оценки качества речных вод служит сопоставление различных показателей загрязнения – ИЗВ и коэффициента комплексности (табл. 18).

Таблица 18. Оценка загрязненности воды рек за 1985 г. по ИЗВ и коэффициенту комплексности

Река	Показатель		Приоритетные загрязняющие вещества		Характеристика загрязненности	
	ИЗВ	КК, %	ИЗВ	КК, %	ИЗВ	КК, %
Паша	2,99	29,05	Fe, Cu, н/п	Fe, Cu, н/п	Загрязненная	Превышение ПДК по нескольким ингредиентам (2 категория загрязнения)
Вуокса	1,99	20,63	БПК5, Cu, н/п	БПК5, Cu, Mn	Умеренно загрязненная	
Оредеж	2,54	20,05	N_{NO_3} , н/п, Fe	Fe, N_{NO_3} , БПК5	Загрязненная	

Примечание: Fe – железо, Cu – медь, Mn – марганец, н/п – нефтепродукты, N_{NO_3} – нитритный азот.

Из полученных результатов о степени загрязненности следует, что по значениям ИЗВ воды исследуемых рек (Паша, Вуокса, Оредеж) относятся к умеренно загрязненным и загрязненным, а коэффициент комплексности указывает, что в данных реках превышение ПДК выявлено по нескольким ингредиентам. Действительно, было обнаружено превышение предельно допустимой концентрации по многим вещества. В табл. 18 представлены наиболее приоритетные загрязняющие вещества для исследуемых рек из каждой группы, по которым и было выявлено максимальное

превышение ПДК. Например, р. Паша приоритетными загрязняющими веществами оказались железо (10 ПДК), медь (3 ПДК) и нефтепродукты (3 ПДК).

Конечной задачей интегральной оценки качества речных вод явилось определение величины УКИЗВ (удельный комбинаторный индекс загрязненности воды), которая является комплексной оценкой качества воды. Суть определения УКИЗВ состоит в предоставлении обоснованной статистической информации об уровне загрязненности речных вод по комплексу гидрохимических показателей (Методические указания, 2002). В качестве исходной информации для определения УКИЗВ выступили ранее рассчитанные оценки загрязненности воды – ИЗВ и коэффициент комплексности.

Кроме того, важной частью оценки загрязненности речных вод было сопоставление значений УКИЗВ для 1985 и 2002 гг. (Качество, 2002) (табл. 19) и выявление тенденции изменения качества вод.

Таблица 19. Характеристика загрязненности вод рек за 1985 г. по величине ИЗВ и за 2002 г. по величине УКИЗВ

Река	УКИЗВ – класс		Приоритетные загрязняющие вещества		Характеристика загрязненности	
	1985 г.	2002 г.	1985 г.	2002 г.	1985 г. (по ИЗВ)	2002 г. (по УКИЗВ)
Паша	3а	2,7 – 3а	Fe, Cu, н/п	Fe, Mn, н/п	Загрязненная	Весьма загрязненная
Вуокса	3а	2 – 3а	БПК5, Cu, н/п	Fe, Mn,	Умеренно загрязненная	
Оредеж	3а	2,5 – 3а	N_{NO_3} , н/п, Fe	N_{NO_3} , Cu, Fe	Загрязненная	

Примечание: Fe – железо, Cu – медь, Mn – марганец, н/п – нефтепродукты, N_{NO_3} – нитритный азот.

Сравнивая полученные результаты табл. 19, видно, что списки приоритетных загрязняющих веществ по двум показателям (ИЗВ и УКИЗВ) в целом схожи. Так, для р. Паша в прошлые годы (1985 г.) и в современный период (2002 г.) постоянными загрязнителями являются железо и нефтепродукты, однако изменяются тяжелые металлы (медь в 1985 г. на марганец в 2002 г.). Для рек Карелии и Карельского перешейка (р. Вуокса) в 1985 г. среди приоритетных загрязняющих веществ стоит БПК5, однако к началу 20-го века этот показатель исключается. А для рек Ижорского

плато (Оредеж) перманентным являются нитритный азот и железо, но нефтепродукты меняются на медь.

Стоит отметить, что характеристики загрязнения речных вод по ИЗВ за 1985 г. и по УКИЗВ за 2002 г. имеют некоторые различия. Так, по УКИЗВ речные воды относятся к весьма загрязненным, несмотря на то, что классы загрязнения различные. Что же касается оценки загрязнения вод рек по ИЗВ, то здесь появляется дифференциация – реки Паша и Оредеж относятся к загрязненным, а р. Оредеж – к умеренно загрязненным.

Заключение

1. На основе анализа физико-географических особенностей формирования химического состава вод исследуемого региона и литературных данных выявлена региональная гидрохимическая специфика рек. Установлена дифференциация величины общей минерализации речных вод (45 – 350 мг/л) – от очень малой до средней, и значений рН – от слабокислых (6,5 ед. рН) до слабощелочных (7,45 ед. рН). Максимальные значения общей минерализации и величины рН (от нейтральной до слабощелочной) установлены для рек бассейна Финского залива (Вруда, Оредеж); минимальные значения для рек Карельского перешейка (Вуокса).
2. На основе статистической обработки СЗУГМС рассчитаны диапазоны антропогенно измененного фона все определяемых гидрохимических показателей для разнотипных рек региона.
3. Проведена оценка загрязненности речных вод в период интенсивного хозяйственного освоения их водосборной территории на основе расчетов интегральных индексов загрязнения и сопоставления их с УКИЗВ. Показано, что для рек различных групп приоритетными загрязняющими веществами нефтепродукты, нитритный азот, общее железо, медь и органическое вещество (ХПК). При этом наибольшее превышение ПДК по нитритному азоту характерно для рек с сельскохозяйственно освоенным водосбором (Вруда, Оредеж); для рек с заболоченными водосборами (Паша, Оять) максимальное превышение установлено для общего железа и органического вещества естественного происхождения (по ХПК). По величине ИЗВ реки отнесены к умеренно загрязненным и загрязненным.
4. Установлены особенности сезонной изменчивости гидрохимических показателей для исследуемых рек. Показано, что величины для общей минерализации характерен устойчивый зимний максимум и весенний минимум, особенно четко выраженный для рек с наибольшей долей грунтового питания (Вруда, Оредеж). Сглаженный характер сезонных изменений общей минерализации установлен для зарегулированной реки Вуоксы. Для органического вещества установлены выраженные увеличения в период осеннего паводка, а минимальных – в зимний период.
5. Установлены значения модулей стока растворенных веществ, включая ионный сток (10 – 100 т/км² год), сток органического вещества (6 – 16 т/км²), сток биогенных элементов (3 – 12 кг/км²) и загрязняющих веществ (нефтепродукты (10 – 130 кг/км²) и медь (630 – 1210 г/км²). Максимальные значения ионного стока ($P_{и} = 99$ т/км² год) и стока биогенных веществ ($P_{р} = 12$ кг/км² год) установлены для рек Вруда и Оредеж,

минимальные для р. Вуокса. Макс значения органического вещества – для р. Паша и Оять ($P_C = 5 - 14$ т/км² год). Установлены модули сезонного стока растворенных веществ. Для разных химических веществ сезонные изменения стока имеют различный характер. Так для минеральных и биогенных веществ максимальный вынос наблюдается в периоды весенних половодий и осенних паводков, органических веществ и общего железа - в период осенних паводков, загрязняющих веществ – в периоды весеннего половодья при минимальных значениях в меженные периоды.

6. Выявленная дифференциация показателей стока различных химических веществ для разнотипных рек региона может быть положена в основу расчета предельно допустимы сбросов загрязняющих веществ и изменении качества воды при проектировании различных хозяйственных объектов (прокладка нефтепроводов, сброс сточных вод и др.).

Литература

1. Алекин О. А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометиздат, 1970. – 443 с;
2. Белоногов В. А. Многолетняя изменчивость ионного стока рек Севера Европейской части России как отражение уровня загрязнения окружающей среды. Казань, 1999. С. 3 – 21;
3. Воронков. П. П. Гидрохимия местного стока Европейской территории СССР, Л.: Гидрометиздат, 1970;
4. Воронков П. П. Основные черты формирования режима ионного состава поверхностных вод в условиях Севера // Труды ГГИ, выпуск 33 (87), Л.: Гидрометиздат, 1951, С. 64 – 128;
5. Воронков П. П. Гидрохимические особенности вод местного стока в период весеннего половодья и почвенного покрова водосборов Европейской территории СССР // Труды ГГИ, выпуск 137, Л.: Гидрометиздат, 1966, стр. 5 – 57;
6. Емельянова В. П., Данилова Г. Н., Колесникова Т. Х. Оценка качества поверхностных вод суши по гидрохимическим показателям // Гидрохимические материалы. – 1983. – Т. 88. – С. 119 – 129;
7. Заславская М. Б., Ефимова Л. Е. Сезонная изменчивость растворенных веществ в арктические моря России // МГУ им. Ломоносова, 2015;
8. Кудерский Л. А. Изменение экологического состояния озер в связи с антропогенными влияниями, СПб – ИНОЗ РАН, 2002;
9. Максимова М.П. Критерии антропогенного эвтрофирования речного стока и расчет антропогенной составляющей биогенного стока рек // Водные ресурсы. Изд-во «Наука», 1979 №1 с.35-40;
10. Мальцева А. В., Тарасов М. Н. Сток органических веществ с территории СССР // Гидрохимические материалы. Т. СII, Л.: Гидрометиздат, 1987;
11. Найденова В. И. Гидрохимическая характеристика средних и больших рек Европейской территории СССР. Л.: Гидрометиздат, 1971;
12. Никаноров А. М. Гидрохимия. Изд-во СПбГУ, 2001;
13. Расплетина Г. Ф., Мурашева Е. Б. Современное состояние экосистемы Ладожского озера // Гидрохимическая характеристика притоков. Л.: «Наука», 1987, стр. 27 - 41;
14. Румянцева В. А. Ладожское озеро: прошлое, настоящее и будущее. СПб, 2002;
15. Скакальский Б.Г. Основные географические и гидрохимические характеристики местного стока различных природных зон Европейской территории СССР // Труды ГГИ, выпуск 137. Л.: Гидрометиздат, 1966, стр. 125-178;

16. Скакальский Б.Г., Ферсман П.Я. Оценка влияния антропогенных факторов на химический состав воды в реках бассейна Балтийского моря // Труды ГГИ, выпуск 283, 1982, стр. 52-65;
17. Соколов А. А. Гидрография СССР. Л.: Гидрометиздат, 1952;
18. Тарасов М. Н. Сток биогенных веществ. Т. 98. 1988.
19. Гидрологический ежегодник. Северо-Запад и Карелия. Т.2. 1985 – 1987 гг. Л.: Гидрометиздат, 1986 – 1988;
20. Гидрологический ежегодник. Северо-Запад и Карелия. Т.2. 1960 – 1962 гг. Л.: Гидрометиздат, 1961 – 1963;
21. Ежегодные данные качества Северо-Западного Управления Гидрометслужбы. Северо-Запад и Карелия. 1985 – 1987 гг. Л.: Гидрометиздат, 1986 – 1988;
22. Качество поверхностных вод Российской Федерации. Гидрохимический институт // Ежегодник, 2002, с.23-25;
23. Методические указания. Методы комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям, РД 52. 24. 643 – 2002;
24. Перечень рыбохозяйственных нормативов предельно допустимых концентраций (ПДК) для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. Роскомрыболовство – М.: Изд-во ВНИРО, 1999. – 304 с.;
25. Ресурсы поверхностных вод СССР. Северо-Запад и Карелия // Т.2. Л.: Гидрометиздат, 1972.

Приложение

Приложение 1

Водность исследуемых рек

Река - пункт	Год	Расход воды, м ³ /с		Год по водности	
		За год	Среднемноголетний		
Лососинка – г. Петрозаводск	1960	2,38	3,39	Маловодный	
Паша – с. Часовенское		39,7	43,8		
Оять – д. Мининское		5,03	6,99		
Сясь – д. Яхново		31,6	52,3		
Систа – д. Среднее Райково		5,61	6,53		
Лососинка – г. Петрозаводск	1961	4,26	3,39	Многоводный	
Паша – с. Часовенское		67,6	43,8		
Оять – д. Мининское		9,76	6,99	Средневодный	
Сясь – д. Яхново		51,3	52,3		
Оредеж – д. Моровино		21,4	20,5		
Вруда – д. Извоз	7,12	5,87	Многоводный		
Систа – д. Среднее Райково	7,35	6,53			
Лососинка – г. Петрозаводск	1962	5,17	3,39	Многоводный	
Паша – с. Часовенское		87,4	43,8		
Оять – д. Мининское		11,2	6,99		
Сясь – д. Яхново		77,8	52,3		
Оредеж – д. Моровино		34	20,5		
Вруда – д. Извоз		8,54	5,87		
Систа – д. Среднее Райково		10,4	6,53		
Вуокса – Х ГЭС	1985	530	535	Средневодный	
Лососинка – г. Петрозаводск		1,96	3,39	Маловодный	
Паша – с. Часовенское		52,9	43,8	Многоводный	
Оять – д. Мининское		6,07	6,99	Маловодный	
Сясь – д. Яхново		46,4	52,3		
Оредеж – д. Моровино		22	20,5	Средневодный	
Вруда – д. Извоз		5,59	5,87		
Систа – д. Среднее Райково		6,45	6,53		
Вуокса – Х ГЭС		1986	522	535	Средневодный
Лососинка – г. Петрозаводск			3,14	3,39	Многоводный
Паша – с. Часовенское	63,9		43,8		
Оять – д. Мининское	7,13		6,99		
Сясь – д. Яхново	59		52,3		
Оредеж – д. Моровино	29,4		20,5		
Вруда – д. Извоз	7,83		5,87		
Вуокса – Х ГЭС	1987	651	535	Многоводный	
Лососинка – г. Петрозаводск		3,82	3,39		
Паша – с. Часовенское		66,2	43,8		
Оять – д. Мининское		7,48	6,99		
Сясь – д. Яхново		55,9	52,3		
Оредеж – д. Моровино		33,6	20,5		
Вруда – д. Извоз	8,76	5,87			

Число членов выборки для каждой реки за два периода

Река	Год	N
Паша	1960	6
Паша	1961	13
Оредеж		9
Паша	1962	14
Оредеж		7
Паша	1985	8
Вуокса		16
Оредеж		8
Паша	1986	8
Вуокса		27
Оредеж		4
Паша	1987	8
Вуокса		20
Оредеж		4

Примечание: N – число членов выборки.

Оценка сезонного распределения ионного стока для разных рек за два периода наблюдений для исследуемых рек

Год	Сезон	Расход, м ³ /с	Площадь водосбора, м ²	Минерализация, мг/л	Сезонный сток растворенных веществ, кг	Модуль стока, т/км ² ·год
1960	Река Паша					
	Зима		5710	-	-	-
	Весна	104,44		69,25	228235,06	39,97
	Лето	23,56		162,3	120667,28	21,13
	Осень	13,42		130,6	55308,44	9,69
1961	Река Паша					
	Зима		5710	-	-	-
	Весна	131,29		63,66	263742,63	46,19
	Лето	53,67		79,43	134532,11	23,56
	Осень	48,69		83,15	127761,12	22,37
	Река Оредеж					
	Зима	13,37	2700	381,7	161005,60	59,63
	Весна	50,66		225,38	360308,42	133,45
	Лето	10,36		400,8	131095,62	48,55
Осень	10,52	368,4		122346,01	45,31	
1962	Река Паша					
	Зима		5710	-	-	-
	Весна	181,96		44,03	252820,35	44,28
	Лето	50,69		103,2	165089,02	28,91
	Осень	96,92		47,27	144575,18	25,32
	Река Оредеж					
	Зима		2700	-	-	-
	Весна	62,55		313,92	619643,66	229,50
	Лето			-	-	-
Осень	34,41	259,4		281676,33	104,32	
1985	Река Паша					
	Зима	18,9	5710	164	97814,08	17,13

Год	Сезон	Расход, м ³ /с	Площадь водосбора, м ²	Минерализация, мг/л	Сезонный сток растворенных веществ, кг	Модуль стока, т/км ² ·год		
	Весна	107		30,1	101635,63	17,80		
	Лето	26,7		88,85	74862,51	13,11		
	Осень	59,4		58,2	109095,07	19,11		
	Река Вуокса							
	Зима	544,33	61500	43,48	746874,30	12,14		
	Весна	510,73		39,03	629050,67	10,23		
	Лето	549,96		44,55	773169,16	12,57		
	Осень	513,57		46,7	756854,22	12,31		
	Река Оредеж							
	Зима	9,85	2700	455,5	141586,00	52,44		
	Весна	37,6		149	176794,94	65,48		
	Лето	13,08		320	132084,98	48,92		
	Осень	26,99		288	245296,35	90,85		
	1986	Река Паша						
		Зима	36,57	5710	120,5	225853,45	24,35	
		Весна	130,8		27,3	229833,42	19,73	
Лето		17,29	134		127465,03	12,80		
Осень		68,64	52,5		290809,12	19,92		
Река Вуокса								
Зима		521,67	61500	46	757267,65	12,31		
Весна		526,7		48,74	810111,04	13,17		
Лето		548,42		51,93	898726,02	14,61		
Осень		491		43,16	668742,06	10,87		
Река Оредеж								
Зима		17	2700	421	139061,76	83,65		
Весна		48,88		149	112685,00	85,12		
Лето		12,24		330	73113,15	47,21		
Осень		38,72		238	113718,81	107,71		
Река Паша								
	Зима	18,1	5710	150,5	85962,85	15,05		

Год	Сезон	Расход, м ³ /с	Площадь водосбора, м ²	Минерализация, мг/л	Сезонный сток растворенных веществ, кг	Модуль стока, т/км ² ·год	
	Весна	142,7		29,55	133069,08	23,30	
	Лето	64,75		84,55	172762,35	30,26	
	Осень	41,37		60,35	78787,71	13,80	
	Река Вуокса						
	Зима	663	61500	52,51	1098629,50	17,86	
	Весна	557,09		51,98	913813,03	14,86	
	Лето	575,6		50,25	912751,51	14,84	
	Осень	804,71		47,46	1205210,32	19,60	
	Река Оредеж						
	Зима	12,14	2700	441	168947,97	62,57	
	Весна	44,06		136	189094,59	70,04	
	Лето	46,1		165	240038,32	88,90	
	Осень	32,01		274	276778,24	102,51	

Оценка сезонного стока растворенных биогенных веществ за два периода наблюдений для исследуемых рек

Год	Сезон	Расход, м ³ /с	Площадь водосбора, м ²	Общий фосфор			Нитратный азот			Аммонийный азот		
				Концентрация общего фосфора, мгР/л	Сезонный сток растворенных веществ, кг	Модуль стока, кг/км ² ·год	Концентрация нитратного азота, мгN/л	Сезонный сток растворенных веществ, кг	Модуль стока, кг/км ² ·год	Концентрация аммонийного азота, мгN/л	Сезонный сток растворенных веществ, кг	Модуль стока, кг/км ² ·год
1960	Река Паша											
	Зима		5710	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Весна	104,44		0,01	0,00	6	-	-	-	-	-	-
	Лето	23,56		0,002	3,81	0	-	-	-	-	-	-
Осень	13,42	0,009		32,96	1	-	-	-	-	-	-	
1961	Река Паша											
	Зима		5710	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Весна	131,29		0,02	82,86	15	0,03	124,29	20	-	-	-
	Лето	53,67		0,01	16,94	3	-	-	-	-	-	-
	Осень	48,69		0,01	15,37	3	-	-	-	-	-	-
	Река Оредеж											
	Зима	13,37	2700	0,005	2,11	1	-	-	-	-	-	-
	Весна	50,66		-	-	-	0,010	15,99	6	-	-	-
Лето	10,36	-		-	-	0,020	6,54	2	-	-	-	
Осень	10,52	-		-	-	0,044	14,61	5	-	-	-	
1962	Река Паша											
	Зима		5710	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Весна	181,96	0,01		57,42	10	0,08	459,36	80	-	-	-	

Год	Сезон	Расход, м³/с	Площадь водосбора, м²	Общий фосфор			Нитратный азот			Аммонийный азот			
				Концентрация общего фосфора, мгР/л	Сезонный сток растворенных веществ, кг	Модуль стока, кг/км²·год	Концентрация нитратного азота, мгN/л	Сезонный сток растворенных веществ, кг	Модуль стока, кг/км²·год	Концентрация аммонийного азота, мгN/л	Сезонный сток растворенных веществ, кг	Модуль стока, кг/км²·год	
	Лето	50,69		0,01	16,00	30	-	-	-	-	-	-	
	Осень	96,92		0,01	30,58	50	-	-	-	-	-	-	
	Река Оредеж												
	Зима		2700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Весна	62,55		0,01	19,74	7	0,02	39,48	15	-	-	-	
	Лето			-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Осень	34,41		-	-	-	0,04	43,44	16	-	-	-	
	1985	Река Паша											
		Зима	18,9	5710	0,02	11,93	2	0,21	125,25	20	0,1	59,64	10
		Весна	107		0,03	101,30	18	0,08	270,13	50	0,02	67,53	12
Лето		26,7	0,02		16,85	3	0,035	29,49	10	0,01	8,43	1	
Осень		59,4	0,01		18,74	3	0,06	112,47	20	-	-	-	
Река Вуокса													
Зима		544,33	61500	0,01	171,77	3	0,16	2748,39	40	-	-	-	
Весна		510,73		0,02	322,34	5	0,25	4029,28	70	0,03	483,51	8	
Лето		549,96		0,01	173,55	3	0,12	2082,61	30	0,03	520,65	8	
Осень		513,57		0,01	162,07	3	0,17	2755,14	40	0,03	486,20	8	
Река Оредеж													
Зима		9,85	2700	0,03	9,33	3	2,08	646,54	240	0,13	40,41	15	
Весна		37,6		0,04	47,46	18	1,48	1756,08	650	0,04	47,46	18	
Лето		13,08		0,02	8,26	3	2,33	961,74	360	0,03	12,38	5	

Год	Сезон	Расход, м³/с	Площадь водосбора, м²	Общий фосфор			Нитратный азот			Аммонийный азот		
				Концентрация общего фосфора, мгР/л	Сезонный сток растворенных веществ, кг	Модуль стока, кг/км²·год	Концентрация нитратного азота, мгN/л	Сезонный сток растворенных веществ, кг	Модуль стока, кг/км²·год	Концентрация аммонийного азота, мгN/л	Сезонный сток растворенных веществ, кг	Модуль стока, кг/км²·год
	Осень	26,99		0,02	17,03	6	2,26	1924,89	710	0,04	34,07	13
1986	Река Паша											
	Зима	36,57	5710	0,01	11,54	2	0,2	230,81	40	0,02	23,08	4
	Весна	130,8		-	-	-	0,14	577,87	101	0,01	41,28	7
	Лето	17,29		0,01	5,46	1	-	-	-	0,03	16,37	3
	Осень	68,64		-	-	-	0,06	129,96	23	0,03	64,98	11
	Река Вуокса											
	Зима	521,67	61500	-	-	-	0,17	2798,60	50	0,03	493,87	8
	Весна	526,7		0,01	166,21	3	0,19	3158,00	50	0,01	166,21	3
	Лето	548,42		-	-	-	0,05	865,32	10	0,02	346,13	6
	Осень	491		-	-	-	0,1	1549,45	30	0,01	154,94	3
	Река Оредеж											
	Зима	17	2700	0,028	15,02	6	5,05	2709,17	1000	-	-	-
	Весна	48,88		0,005	7,71	3	1,52	2344,61	870	-	-	-
	Лето	12,24		0,033	12,75	5	1,23	475,10	180	-	-	-
	Осень	38,72		0,028	34,21	13	1,2	1466,26	540	0,078	95,31	35
	1987	Река Паша										
Зима		18,1	5710	0,01	5,71	1	0,89	508,35	89	1,45	828,21	145
Весна		142,7		-	-	-	0,11	495,35	87	0,01	45,03	8
Лето		64,75		0,01	20,43	4	0,11	224,76	39	0,02	40,87	7
Осень		41,37		-	-	-	0,02	26,11	5			

Год	Сезон	Расход, м³/с	Площадь водосбора, м²	Общий фосфор			Нитратный азот			Аммонийный азот		
				Концентрация общего фосфора, мгР/л	Сезонный сток растворенных веществ, кг	Модуль стока, кг/км²·год	Концентрация нитратного азота, мгN/л	Сезонный сток растворенных веществ, кг	Модуль стока, кг/км²·год	Концентрация аммонийного азота, мгN/л	Сезонный сток растворенных веществ, кг	Модуль стока, кг/км²·год
Река Вуокса												
	Зима	663	61500	-	-	-	0,21	4393,68	70	0,02	418,45	7
	Весна	557,09		0,01	175,80	3	0,23	4043,42	70	0,05	879,00	14
	Лето	575,6		-	-	-	0,13	2361,35	40	0,02	363,28	6
	Осень	804,71		0,01	253,94	4	0,11	2793,37	50	-	-	-
Река Оредеж												
	Зима	12,14	2700	0,048	18,39	7	4	1532,41	570	-	-	-
	Весна	44,06		0,021	29,20	11	1,8	2502,72	930	0,09	125,14	46
	Лето	46,1		0,025	36,37	13	0,9	1309,30	480	-	-	-
	Осень	32,01		0,025	25,25	9	2	2020,28	750	0,02	20,20	7

Оценка сезонного стока органических веществ за два периода для каждого водотока

Год	Сезон	Расход, м ³ /с	Площадь водосбора, м ²	Бихроматная окисляемость			Общее железо		
				Бихроматная окисляемость, мгО/л	Сезонный сток растворенных веществ, кг	Модуль стока, т/км ² ·год	Концентрация железа, мгFe/л	Сезонный сток растворенных веществ, кг	Модуль стока, кг/км ² ·год
1960	Река Паша								
	Зима		5710	-	-	-	-	-	-
	Весна	104,44		39,2	97811,49	17,13	0,38	1252,41	220
	Лето	23,56		22,9	7750,81	1,36	0,07	52,04	10
	Осень	13,42		32,1	10703,83	1,87	0,51	215,98	40
Река Паша									
1961	Река Паша								
	Зима		5710	-	-	-	-	-	-
	Весна	131,29		32,88	102166,09	17,89	0,41	1698,63	300
	Лето	53,67		30,95	39315,45	6,89	0,61	1033,17	180
	Осень	48,69		49,95	57561,65	10,08	0,71	1090,92	190
	Река Оредеж								
	Зима	13,37	2700	9,5	3005,41	1,11	0,21	88,58	30
	Весна	50,66		38,13	45717,99	16,93	0,28	447,63	170
	Лето	10,36		28	6868,78	2,54	0,06	19,63	10
Осень	10,52	-		-	-	0,17	56,46	20	
1962	Река Паша								
	Зима		5710	-	-	-	-	-	-
	Весна	181,96		36,84	158651,51	27,78	0,65	3732,30	650
	Лето	50,69		35,07	42076,10	7,37	0,65	1039,80	180
	Осень	96,92		47,27	108431,38	18,99	0,72	2202,12	390
	Река Оредеж								
	Зима		2700	-	-	-	-	-	-
	Весна	62,55		18,1	26795,56	9,92	0,32	631,64	230
	Лето			0,00	#ДЕЛ/0!		0,00		
Осень	34,41	57,1		46502,66	17,22	0,69	749,25	280	
1985	Река Паша								
	Зима	18,9	5710	18,65	8342,53	1,46	0,75	447,32	80
	Весна	107		22	55713,88	9,76	0,6	2025,96	350
	Лето	26,7		42	26541,01	4,65	0,64	539,25	90
	Осень	59,4		50,5	70996,15	12,43	1,22	2286,87	400
	Река Вуокса								
	Зима	544,33	61500	19,33	249029,67	4,05	0,19	3263,71	50
	Весна	510,73		20,73	250580,72	4,07	0,08	1289,37	20
	Лето	549,96		27,5	357948,68	5,82	0,08	1388,41	20
	Осень	513,57		20,25	246139,69	4,00	0,09	1458,61	20
Река Оредеж									

Год	Сезон	Расход, м ³ /с	Площадь водосбора, м ²	Бихроматная окисляемость			Общее железо		
				Бихроматная окисляемость, мгО/л	Сезонный сток растворенных веществ, кг	Модуль стока, т/км ² ·год	Концентрация железа, мгFe/л	Сезонный сток растворенных веществ, кг	Модуль стока, кг/км ² ·год
	Зима	9,85	2700	12,15	2832,50	1,05	0,24	74,60	30
	Весна	37,6		35,2	31324,74	11,60	0,34	403,42	150
	Лето	13,08		26,6	8234,67	3,05	0,16	66,04	20
	Осень	26,99		43,5	27787,48	10,29	0,42	357,72	130
1986	Река Паша								
	Зима	36,57	5710	29	25100,36	4,40	0,6	692,42	120
	Весна	130,8		34	105255,22	18,43	0,19	784,25	140
	Лето	17,29		20	8184,31	1,43	0,09	49,11	10
	Осень	68,64		27,5	44675,24	7,82	0,49	1061,38	190
	Река Вуокса								
	Зима	521,67	61500	19,5	240761,73	3,91	0,07	1152,36	20
	Весна	526,7		23,25	289829,94	4,71	0,12	1994,53	30
	Лето	548,42		19,05	247266,48	4,02	0,03	519,19	10
	Осень	491		15,48	179890,99	2,93	0,02	309,89	10
	Река Оредеж								
	Зима	17	2700	1,81	728,26	0,27	0,48	257,51	10
	Весна	48,88		1,24	1434,53	0,53	0,27	416,48	150
	Лето	12,24		1,92	556,21	0,21	0,24	92,70	30
	Осень	38,72		3,81	3491,54	1,29	0,56	684,26	250
	1987	Река Паша							
Зима		18,1	5710	18,5	7925,15	1,39	0,71	405,54	70
Весна		142,7		19	64170,37	11,24	0,19	855,60	150
Лето		64,75		41	62831,96	11,00	0,78	1593,79	280
Осень		41,37		48	46998,47	8,23	0,57	744,14	130
Река Вуокса									
Зима		663	61500	21,77	341608,71	5,55	0,07	1464,56	20
Весна		557,09		17,85	235353,44	3,83	0,07	1230,61	20
Лето		575,6		20,73	282408,04	4,59	0,06	1089,85	20
Осень		804,71		19,22	366057,88	5,95	0,06	1523,65	20
Река Оредеж									
Зима		12,14	2700	25	7183,16	2,66	0,39	149,41	60
Весна		44,06		22	22941,62	8,50	0,46	639,58	240
Лето		46,1		62	67647,16	25,05	0,53	771,03	290
Осень		32,01		49	37122,63	13,75	0,57	575,78	210

Оценка сезонного стока загрязняющих веществ и тяжелых металлов за два периода для каждого водотока

Год	Сезон	Расход, м ³ /с	Площадь водосбора, м ²	Нефтепродукты			СПАВ			Медь (Cu)			Марганец (Mn)		
				Концентрация нефтепродуктов	Сезонный сток растворенных веществ, кг	Модуль стока, кг/км ²	Концентрация СПАВ	Сезонный сток растворенных веществ, кг	Модуль стока, кг/км ²	Концентрация меди, мгCu/л	Сезонный сток растворенных веществ, кг	Модуль стока, г/км ²	Концентрация марганца, мгMn/л	Сезонный сток растворенных веществ, кг	Модуль стока, г/км ²
1985	Река Паша														
	Зима	18,9	5710	-	-	-	0,02	11,93	2	2,8	1670,00	0,29	-	-	-
	Весна	107		0,16	540,26	90	0,02	67,53	12	9	30389,39	5,32	45	151946,96	26,61
	Лето	26,7		0,1	84,26	10	0,03	25,28	4	0,95	800,44	0,14	-	-	-
	Осень	59,4		0,08	149,96	30	-	11,93	2	3,75	7029,32	1,23	20,5	38426,96	6,73
	Река Вуокса														
	Зима	544,33	61500	0,14	2404,84	40	0,01	171,77	3	7,48	128487,12	2,09	-	-	-
	Весна	510,73		-	-	-	-	-	-	10	161171,07	2,62	8,75	141024,68	2,29
	Лето	549,96		-	-	-	0,02	347,10	6	1,8	31239,16	0,51	-	-	-
	Осень	513,57		-	-	-	0,02	324,13	5	4,35	70499,27	1,15	1,05	17017,06	0,28
	Река Оредеж														
	Зима	9,85	2700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Весна	37,6		0,2	237,31	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Лето	13,08		0,47	194,00	70	0,01	4,13	2	3	1238,30	0,46	-	-	-
	Осень	26,99		-	-	-	0,02	17,03	6	1,6	1362,76	0,50	2,9	2470	0,91
	1986	Река Паша													
Зима		36,57	5710	-	-	-	-	-	-	1,85	2134,97	0,37	11	12694,43	2,22
Весна		130,8		0,14	577,87	100	0,03	16,37	3	1	4127,66	0,72	26	107319,05	18,79

Год	Сезон	Расход, м³/с	Площадь водосбора, м²	Нефтепродукты			СПАВ			Медь (Cu)			Марганец (Mn)			
				Концентрация нефтепродуктов	Сезонный сток растворенных веществ, кг	Модуль стока, кг/км²	Концентрация СПАВ	Сезонный сток растворенных веществ, кг	Модуль стока, кг/км²	Концентрация меди, мг/л	Сезонный сток растворенных веществ, кг	Модуль стока, г/км²	Концентрация марганца, мг/л	Сезонный сток растворенных веществ, кг	Модуль стока, г/км²	
	Лето	17,29		0,08	43,65	10	0,08	173,29	30	-	-	-	-	-	-	
	Осень	68,64		-	-	-	-	-	-	2,35	5090,27	0,89	2	4332,14	0,76	
Река Вуокса																
	Зима	521,67	61500	-	-	-	0,02	329,25	5	4,33	71281,93	1,16	8,68	142893,11	2,32	
	Весна	526,7		0,12	1994,53	30	0,02	332,42	5	2,32	38560,89	0,63	3,38	56179,22	0,91	
	Лето	548,42		0,5	8653,24	140	0,02	346,13	6	1,83	31670,88	0,51	13,73	237618,11	3,86	
	Осень	491		-	-	-	0,04	619,78	10	0,89	13790,09	0,22	6	92966,92	1,51	
Река Оредеж																
	Зима	17	2700	-	-	-	-	-	-	7,4	3969,87	1,47	48	25750,51	9,54	
	Весна	48,88		-	-	-	-	-	-	-	1,1	1696,76	0,63	0,6	925,50	0,34
	Лето	12,24		0,02	7,73	3	0,01	3,86	1	-	-	-	-	-	-	
	Осень	38,72		0,02	24,44	9	-	-	-	2	2443,77	0,91	4	4887,55	1,81	
Река Паша																
1987	Зима	18,1	5710	-	-	-	-	-	-	3,7	2113,37	0,37	5,85	3341,41	0,59	
	Весна	142,7		-	-	-	-	-	-	-	-	-	14,3	64395,53	11,28	
	Лето	64,75		-	-	-	0,02	40,87	7	3,05	6232,11	1,09	8,75	17879,01	3,13	
	Осень	41,37		-	-	-	-	-	-	3	3916,54	0,69	4,9	6397,01	1,12	
	Река Вуокса															
		Зима	663	61500	0,19	3975,24	60	0,02	418,45	7	2,35	49167,38	0,80	5,59	116955,61	1,90
		Весна	557,09		0,22	3867,62	60	0,02	351,60	6	2,49	43774,42	0,71	8,64	151891,97	2,47
	Лето	575,6	0,12		2179,71	40	0,02	363,28	6	3	54492,63	0,89	14,19	257750,13	4,19	

Год	Сезон	Расход, м³/с	Площадь водосбора, м²	Нефтепродукты			СПАВ			Медь (Cu)			Марганец (Mn)		
				Концентрация нефтепродуктов	Сезонный сток растворенных веществ, кг	Модуль стока, кг/км²	Концентрация СПАВ	Сезонный сток растворенных веществ, кг	Модуль стока, кг/км²	Концентрация меди, мг/л	Сезонный сток растворенных веществ, кг	Модуль стока, г/км²	Концентрация марганца, мг/л	Сезонный сток растворенных веществ, кг	Модуль стока, г/км²
	Осень	804,71			3301,25	50	0,02	507,88	8	1,87	47487,22	0,77	3,32	84308,86	1,37
Река Оредеж															
	Зима	12,14	2700	0,1	38,31	10	-	-	-	1,2	459,72	0,17	43	16473,39	6,10
	Весна	44,06		-	-	-	-	-	-	3	4171,20	1,54	0,7	973,28	0,36
	Лето	46,1		0,57	829,22	310	-	-	-	3,4	4946,24	1,83	23	33459,89	12,39
	Осень	32,01		-	-	-	0,02	20,20	7	4,2	4242,59	1,57	14	14141,95	5,24

Приложение 7

Расчет индекса загрязнения воды для исследуемых рек за 1985 и 1987 гг.

Компонент	Среднегодовая концентрация	ПДК	$\frac{C_i}{\text{ПДК}}$	ИЗВ
Река Паша (1985) многоводный				
БПК5	1,40	2,00	0,70	2,99
O ₂	8,19	6,00	0,73	
Fe	0,80	0,10	8,00	
Cu	3,43	1,00	3,43	
Нефтепродукты	0,11	0,05	2,20	
Mn	28,67	10,00	2,87	
Река Вуокса (1985) средневодный				
БПК5	1,76	2,00	0,88	1,90
O ₂	10,61	6,00	0,57	
Fe	0,11	0,10	1,10	
Cu	5,54	1,00	5,54	
Нефтепродукты	0,14	0,05	2,80	
Mn	4,90	10,00	0,49	
Река Оредеж (1985) средневодный				
БПК5	2,01	2,00	1,01	2,54
O ₂	8,91	6,00	0,67	
Fe	0,27	0,10	2,70	
Cu	2,07	1,00	2,07	
Нефтепродукты	0,34	0,05	6,80	
Нитритный азот	0,04	0,02	2,00	
Река Паша (1987) многоводный				
БПК5	1,19	2,00	0,60	2,06
O ₂	8,07	6,00	0,74	
Fe	0,56	0,10	5,60	
Cu	3,30	1,00	3,30	
Аммонийный азот	0,49	0,39	1,26	
Mn	8,45	10,00	0,85	
Река Вуокса (1987) многоводный				
БПК5	2,18	2,00	1,09	1,59
O ₂	11,14	6,00	0,54	
Pb	7,13	6,00	1,19	
Cu	2,49	1,00	2,49	
Нефтепродукты	0,17	0,05	3,40	
Mn	8,45	10,00	0,85	
Река Оредеж (1987) многоводный				
БПК5	1,18	2,00	0,59	2,98
O ₂	10,09	6,00	0,59	
Fe	0,49	0,10	4,90	
Cu	2,95	1,00	2,95	
Нефтепродукты	0,34	0,05	6,80	
Mn	20,18	10,00	2,02	

Расчет коэффициента комплексности загрязненности воды для рек Паша, Вуокса и Оредеж за 1985 г.

Месяц	Концентрация ингредиентов и показателей химического состава и свойств воды, мг/л																	Общее количество нормируемых ингредиентов, по которым имеются данные	Количество ингредиентов, содержание которых выше ПДК	Коэффициент комплексности загрязненности воды	
	БПК ₅	O ₂	Cl ⁻	SO ⁻² ₄	Fe	N _{NO₃}	N _{NO₂}	N _{NN₄}	Нефтепродукты	СПАВ	Cu	Zn	Pb	Cd	Hg	Mn	Ni				
Река Паша (1985) многоводный																					
февраль	1,07	7,89	4,3	11	0,94	0,23	-	0,18	-	0,02	2,8	-	1,3	-	-	-	-	10	2	20,00	
май	1,1	8,53	3,9	10,6	0,71	0,13	-	0,02	0,16	0,02	1	-	-	-	-	-	-	10	2	20,00	
июль	1,21	4,4	2,5	9,1	0,64	0,05	-	0,01	-	0,03	1,2	-	-	-	-	-	-	9	3	33,33	
октябрь	-	7,59	4,6	11,5	1,24	0,09	-	-	0,08	-	-	-	-	-	-	18	-	7	3	42,86	
Средний коэффициент комплексности																					29,05
Река Вуокса (1985) средневодный																					
февраль	2,16	12,5	6,4	14,9	0,08	0,18	-	0	0,16	0	3,9	-	-	-	-	-	3,2	10	3	30,00	
май	2,22	12,4	5,3	13,4	0,12	0,23	-	0,04	-	0	-	5,6	-	-	-	12	-	10	3	30,00	
август	2,21	7,19	7,8	14,4	0,1	0,14	-	0,04	-	0,02	-	-	-	-	-	-	-	8	1	12,50	
октябрь	1,89	9,01	7,4	15,4	0,08	0,16	-	0,04	-	0,02	4,4	-	-	-	-	1,2	-	10	1	10,00	
Средний коэффициент комплексности																					20,63
Река Оредеж (1985) средневодный																					
февраль	2,19	8,8	23	22,1	0,1	1,93	0,01	0,21	-	0	-	-	-	-	-	-	-	9	1	11,11	
май	2,33	9,23	6,4	20,2	0,34	1,21	0,23	0,04	0,2	0	-	-	-	-	-	-	-	10	4	40,00	
август	1,76	7,51	12,1	17,3	0,29	1,5	0	0,03	-	0,04	3	-	-	-	-	-	-	10	2	20,00	
октябрь	1,97	10,1	11	21,1	0,64	2,07	0,01	0,03	-	0,03	0,4	-	-	-	-	2,9	-	11	1	9,09	
Средний коэффициент комплексности																					20,05

