МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи



РЕШЕТНЯК ОЛЬГА СЕРГЕЕВНА

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И КАЧЕСТВА РЕЧНЫХ ВОД ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Специальность – 1.6.21. Геоэкология (географические науки)

Диссертация на соискание ученой степени
доктора географических наук

Научный консультант:
Закруткин Владимир Евгеньевич
профессор, доктор геол.-минер. наук

Ростов-на-Дону – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ …… 5

ГЛАВА 1 РЕЧНЫЕ ВОДЫ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ: СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ И ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ……... 18

1.1 Факторы формирования химического состава речных вод на территории Европейской части России (ЕЧР)……. 21

1.2 Состояние изученности химического состава речных вод ЕЧР …… 39

1.3 Характеристика объектов исследования и зональное распределение участков рек в пределах ЕЧР…….. 45

ГЛАВА 2 МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ И СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ …….. 51

2.1 Проблемы водопользования и управления качеством воды …….. 51

2.2 Методология оценки качества воды и состояния водных объектов 59

2.2.1 Подходы к оценке качества воды и состояния водных объектов, используемые за рубежом ……..…….. 62

2.2.2 Подходы к оценке качества воды и состояния водных объектов, используемые в России …….…… 73

2.2.3 Экологическое нормирование загрязнения водных объектов и недостатки нормативов ПДК …… 89

2.3 Концептуальная схема (алгоритм) комплексной оценки качества воды с учетом региональных фоновых характеристик ……. 102

ГЛАВА 3 РЕЧНЫЕ ВОДЫ ЗОН ТУНДРЫ И ЛЕСОТУНДРЫ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ ……... 118

3.1 Тенденции изменчивости химического состава речных вод ……. 120

3.2 Основные источники загрязнения речных вод ……... 124

3.3 Пространственно-временная изменчивость качества воды и состояния речных вод по гидрохимическим показателям ……. 133

ГЛАВА 4 РЕЧНЫЕ ВОДЫ ЗОНЫ ТАЙГИ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ …….. 137

4.1 Тенденции изменчивости химического состава речных вод ……. 137

4.2 Основные источники загрязнения речных вод …….. 150

4.3 Пространственно-временная изменчивость качества воды и состояния речных вод по гидрохимическим показателям …… 155

ГЛАВА 5 РЕЧНЫЕ ВОДЫ ЗОНЫ СМЕШАННЫХ И ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ ЕЧР ……. 170

5.1 Тенденции изменчивости химического состава речных вод ……. 170

5.2 Основные источники загрязнения речных вод …….. 189

5.3 Пространственно-временная изменчивость качества воды и состояния речных вод по гидрохимическим показателям …… 194

ГЛАВА 6 РЕЧНЫЕ ВОДЫ ЗОН ЛЕСОСТЕПЕЙ И СТЕПЕЙ ЕЧР…… 208

6.1 Тенденции изменчивости химического состава речных вод ……. 208

6.2 Основные источники загрязнения речных вод …….. 227

6.3 Пространственно-временная изменчивость качества воды и состояния речных вод по гидрохимическим показателям …… 234

ГЛАВА 7 ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И КАЧЕСТВА РЕЧНЫХ ВОД ЕЧР …… 248

7.1 Закономерности изменчивости химического состава и качества речных вод различных природных зон ЕЧР …… 248

7.1.1 Пространственная изменчивость химического состава речных вод европейской части России …… 250

7.1.2. Пространственно-временная изменчивость качества речных вод европейской части России ……. 275

7.2 Выявление аномальных значений гидрохимических показателей в речных водах ЕЧР …….. 284

7.3 Пространственная изменчивость состояния речных вод ЕЧР по

гидрохимическим показателям …….…… 309

7.4 Комплексная оценка качества речных вод и состояния участков рек ЕЧР (на примере Кольского полуострова и Нижнего Дона) …. 311

7.5 Прогнозная оценка динамики качества воды на основе результатов многолетних исследований речных вод ЕЧР …….. 323

ЗАКЛЮЧЕНИЕ …….. 330

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ …….. 335

ПРИЛОЖЕНИЕ А. Характеристика почвенного покрова в пределах физико-географических провинций ЕЧР ……..…… 370

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Характеристики состояния речных вод различных природных зон ЕЧР (по гидрохимическим показателям) …….. 374

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы

Формирование химического состава природных вод определяется совокупностью физических, химических и биологических процессов, происходящих на водосборе и в самом водном объекте, и зависит от региональных природно-климатических особенностей ландшафтов. Антропогенное воздействие нарушает эти естественные процессы и приводит к трансформации химического состава и качества природных вод.

В последние десятилетия учеными отмечается усиление значимости антропогенного фактора в формировании химического состава и качества природных вод. Антропогенное воздействие на водные объекты приводит не только к изменению качества водной среды, но и к нарушению функционирования водных экосистем и формированию экологического риска. Достаточно сложно выделить водные объекты, не подвергшиеся внешнему воздействию (прямому или косвенному) [150].

В современных условиях антропогенного воздействия проблемы рационального природопользования и охраны водных ресурсов становятся жизненно важными, особенно в промышленных и густонаселенных районах Европейской части России (ЕЧР), где сложилась напряженная экологическая ситуация, сформировались техногенно нарушенные геосистемы [77] и возросла вероятность возникновения на водных объектах чрезвычайных экологических ситуаций, как природного, так и антропогенного характера [145].

В таком контексте большое значение приобретает оценка изменчивости химического состава и качества речных вод ЕЧР с учетом природных особенностей их функционирования в условиях антропогенной нагрузки, особенно в многолетнем аспекте. Не менее значимым и актуальным является разработка новых научно-методических подходов к комплексной оценке качества речных вод и состояния водных объектов с учетом региональных особенностей. Это позволит получать более объективную информацию о качестве природных вод и его изменчивости под влиянием природных и антропогенных факторов, а также сформировать экологически обоснованные предложения по улучшению качества воды и сохранению естественного состояния речных вод, формирующихся в различных природно-климатических условиях.

Степень разработанности темы

Началом развития данной тематики можно считать 70-80-е годы прошлого столетия, когда появилось много публикаций, касающихся региональным аспектам гидрохимических исследований природных вод. Однако основное внимание уделялось только изучению закономерностей изменения содержания главных ионов и органических веществ в природных водах (О.А. Алекин, Г.С. Коновалов, А.А. Зенин, М.П. Смирнов, М.Н. Тарасов и др.).

Современный период исследований в области изучения закономерностей формирования химического состава и оценки качества воды является достаточно насыщенным с точки зрения проводимых работ, научных направлений, используемых методологических подходов и методов. Обращает на себя внимание широкий спектр публикаций по рассматриваемой тематике в зарубежных изданиях. Работы в данном направлении лежат на стыке географической, гидрохимической и гидробиологической отраслей науки и тесно связаны с геоэкологическими и ландшафтно-экологическими исследованиями геоэкосистем (Hakanson L., Mauer F.L., Baron J.S., Dobiesz N.E. et al.) Анализ современных тенденций в мировой и отечественной науке в области изучения формирования качества воды и состояния водных объектов различных природных зон показал, что основную долю исследований занимают работы, посвященные изучению региональных особенностей функционирования геоэкосистем во всей их сложности внутрисистемных взаимодействий и разнообразии. При этом важным является экосистемный подход, бассейновый принцип исследования речных экосистем и учет природного содержания химических веществ в речных водах различных природных зон. Однако комплексирование данных подходов во многих исследованиях отсутствует.

Речные бассейны ЕЧР наиболее изучены по сравнению с другими регионами России. В последние несколько лет опубликовано большое количество работ, статей и монографий по вопросам трансформации качества воды и состояния речных экосистем ЕЧР в условиях климатических изменений и антропогенного воздействия сотрудниками Гидрохимического института (А.М. Никаноров, В.А. Брызгало, Л.С. Косменко и др.), Института водных проблем РАН (Р.Г. Джамалов и др.), Южного федерального университета (В.Е. Закруткин и др.), Южного научного центра РАН и др. Авторами рассмотрена изменчивость качества речных вод и состояния речных экосистем крупных бассейнов рек ЕЧР, таких как Печора, Северная Двина, Ока, Дон и Волга

(А.М. Никаноров, В.А. Брызгало, Л.С. Косменко, Р.Г. Джамалов, О.С. Решетняк и др.), изучено содержание поллютантов в речных водах, отклик гидробиоценозов на загрязнение водной среды и многолетняя изменчивость состояния малых и средних рек Юга ЕЧР в условиях техногенеза.

В то же время при наличии достаточно большого количества публикаций, посвященных изучению проблемы изменчивости качества речных вод различных природных зон ЕЧР, практически отсутствуют комплексные и масштабные работы, направленные на системное изучение пространственно-временных закономерностей трансформации химического состава и качества воды с учетом гидрохимической зональности, что определяет актуальность данного исследования.

Цель исследования – выявить пространственно-временные закономерности трансформации химического состава и качества речных вод европейской части России и разработать научно-методические подходы к комплексной оценке качества речных вод с учетом региональных особенностей.

В соответствии с поставленной целью сформулированы и решены следующие ***основные задачи исследования***:

- изучить зональные особенности формирования химического состава и качества речных вод ЕЧР, выявить гидрохимические аномалии;

- выявить пространственно-временные закономерности изменчивости химического состава и качества речных вод ЕЧР с учетом антропогенного воздействия;

- провести анализ существующих методических подходов к оценке качества воды и состояния водных объектов;

- разработать алгоритм комплексной оценки качества речных вод и состояния участков рек с учетом экосистемного подхода и региональных особенностей формирования химического состава и качества воды;

- провести комплексную оценку качества речных вод на примере участков рек Кольского полуострова и степной зоны бассейнов Северского Донца и Тузлова.

Научная новизна

Впервые на обширном фактическом материале, охватывающем участки рек различных природных зон европейской части России (более 250 участков рек) и многолетний период (более 30 лет), выявлены зональные особенности химического состава речных вод и подтверждена гидрохимическая зональность в изменении

концентраций главных ионов в современных условиях антропогенного воздействия. Показано, что происходит увеличение содержания главных ионов и некоторых биогенных веществ с севера на юг и с запада на восток. Выявлена тенденция снижения содержания соединений некоторых тяжелых металлов при смене природных зон.

Впервые для речных участков ЕЧР показано, что нарушение гидрохимической зональности проявляется в формировании положительных «гидрохимических аномалий» естественного или антропогенного типа, наибольшее число аномальных значений выявлено в содержании сульфатов и ионов кальция.

Впервые определены тенденции изменчивости химического состава речных вод ЕЧР за многолетний период. Выявлены разнонаправленные тенденции изменчивости концентраций химических веществ по большинству показателей с преобладанием убывающих трендов. Показано, что наибольшая частота превышения ПДК наблюдается по содержанию в воде органических веществ, соединений железа и меди во всех рассмотренных природных зонах, а для цинка – в зонах тундры и лесотундры и в зоне тайги.

Впервые для столь обширной территории проведена оценка качества воды и выявлена пространственно-временная неоднородность степени загрязненности воды как внутри природных зон ЕЧР, так и между ними. Показано, что качество воды участков рек меняется от 2-го («слабо загрязненная» вода) до 5-го («экстремально грязная» вода), но большинство исследуемых речных участков характеризуются стабильной степенью загрязненности воды – «загрязненные» и/или «очень загрязненные» (3-й класс качества).

Предложена концептуальная схема (алгоритм) комплексной оценки качества воды и состояния речных участков с использованием регионального геохимического фона и комплекса показателей. Впервые на примере речных участков степной зоны ЕЧР проведена региональная оценка качества воды и состояния участков рек для оценки влияния объектов угольной промышленности на речные системы (в пределах Ростовской области).

Объекты исследования

Для исследования выбраны более 250 участков рек ЕЧР, находящихся в различных физико-географических провинциях и различных природных зонах. Для оценки зональности химического состава и качества воды исследуемые участки рек распределены по физико-географическим провинциям (ФГП), которые в свою очередь

составляют природные зоны ЕЧР. Использование ФГП как природно-территориальной единицы позволяет нам дифференцировать участки рек ЕЧР по особенностям зонального типа ландшафтов. Исследуемые участки рек располагаются в пределах 30 провинций, расположенных в различных природных зонах Русской равнины. Далее участки рек в провинциях объединены по природным зонам: зоны тундры и лесотундры (объединены из-за небольшой площади зон и менее развитой сети наблюдений), зона тайги, зона смешанных и широколиственных лесов, зоны лесостепей и степей (также объединены). Итого в зонах тундры и лесотундры изучено 9 участков рек, тайги – 93 участка, в зоне смешанных и широколиственных лесов – 82 участка и в зонах лесостепей и степей – 73 участка рек.

Материалы и методы исследований

Теоретическую основу настоящего исследования составляют основные фундаментальные постулаты в области учения о биосфере и природных водах В.И. Вернадского [27], гидрохимии природных вод О.А. Алекина, А.М. Никанорова и др. [4, 134, 136, 137], геохимии ландшафтов А.И. Перельмана, Н.С. Касимова, М.А. Глазовской, Ю.Е. Саета, Е.П. Янина и др. [45, 162, 163, 229, 274], гидроэкологии водных экосистем В.А. Абакумова, Ю.А. Израэля, В.Н. Жукинского и др. [1, 65, 83], оценки изменений водных ресурсов ЕЧР под влиянием природных и антропогенных факторов Н.И. Коронкевича, Р.Г. Джамалова, Н.И. Алексеевского и др. [5, 6, 54, 39, 86], экологического районирования и оценки экологической напряженности различных территорий Н.Ф. Глазовского, В.Е. Закруткина, Б.И. Кочуров и др. [46, 69, 71, 73, 99].

Информационной основой данного исследования по выявлению изменчивости химического состава и качества речных вод ЕЧР являются многолетние данные государственной системы наблюдений за состоянием и загрязнением окружающей среды Росгидромета в части наблюдений за поверхностными водами суши. Использована многолетняя гидрохимическая (1985-2017 гг.) информация, полученная едиными методами отбора и анализа проб, оптимизированная по срокам отбора проб, необходимыми для оценки временной изменчивости гидрохимического состояния рек. Многолетняя информация также характеризуется широким охватом различных природных зон и достаточно широким перечнем показателей, определяемых при проведении наблюдений.

Материалами исследования также являются результаты, полученные в ходе

выполнения ряда грантов РФФИ и РНФ (гранты РФФИ № 12-05-00084 (а), № 14-05-00144, 18-05-60165; гранты РНФ № 14-17-00376, № 17-17-01262), научного проекта № 63-НИР/ФЦП-2016 при реализации ФЦП «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012-2020 годах» в период работы в Гидрохимическом институте. В основу диссертационного исследования также вошли материалы полевых и камеральных работ, выполненные автором в экспедициях при реализации гранта РНФ № 14-17-00376 в составе научной группы кафедры геоэкологии и прикладной геохимии ЮФУ в период 2014-2016 гг.

Комплексный характер исследований определил необходимость применения методов, используемых в геоэкологии, гидрохимии, гидрологии, гидробиологии, геохимии и смежных областей. Работы проводились в соответствии с действующими нормативными документами, руководствами и методическими указаниями в области геоэкологии и рационального природопользования.

Основные принципы оценки качества воды и состояния водных объектов разработаны на основе существующих подходов и многолетних исследований сотрудниками Гидрохимического института и адаптированы автором с учетом специфики региональных условий формирования химического состава речных вод на территории ЕЧР. Изучение речных участков различных природных зон ЕЧР велось по единой методической схеме: оценка особенностей химического состава воды и выявление трендов за многолетний период; оценка качества воды и его изменчивости; оценка состояния речных вод по гидрохимическим показателям; для отдельных участков рек степной зоны – оценка уровня загрязненности воды и донных отложений (ДО), выявление степени токсичности воды.

Оценка качества воды и степени ее загрязненности проводилась по комплексной методике на основе расчета удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ). Комплексная оценка качества поверхностных вод по гидрохимическим показателям позволяет учесть влияние широкого перечня загрязняющих веществ, оценить их вклад в загрязненность водной среды [183].

Оценка состояния абиотической компоненты водных систем проводилась по интегральным гидрохимическим показателям качества воды, таким как содержание легкоокисляемых органических веществ (ЛОВ) по показателю $БПК_5$ и концентрация азота аммонийного согласно [175, 176, 211].

Оценка уровня загрязненности водных экосистем по состоянию загрязненности донных отложений проводилась согласно методике, разработанной сотрудниками Института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (ФГБУ «ИМГРЭ») [229]. Методика усовершенствована в части комплексности: дополнительно к показателю – уровень загрязненности ДО относительно регионального фона, введены суммарный показатель загрязненности воды по отношению к фоновому содержанию химических веществ. На основе анализа данных геохимических и экотоксикологических исследований предложена интегральная шкала оценки качества воды и состояния речных участков на основе использования регионального фона и комплекса показателей [75].

На основе анализа существующих методических подходов предложен алгоритм комплексной оценки качества воды и состояния речных участков по комплексу показателей, на основе балльного подхода, с учетом экосистемного подхода и региональных особенностей формирования химического состава и качества воды рек.

Основные защищаемые положения

1. Химический состав речных вод европейской части России характеризуется пространственной неоднородностью и, за редкими исключениями, подчиняется принципу гидрохимической зональности. В многолетнем аспекте при смене природных зон с севера на юг происходит увеличение медианных концентраций главных ионов, биогенных веществ и легкоокисляемых органических веществ на фоне снижения содержания соединений железа и цинка.

2. Нарушение гидрохимической зональности проявляется в формировании положительных гидрохимических аномалий в речных водах ЕЧР. Гидрохимические аномалии характеризуются повышенным содержанием соединений типоморфных элементов. Наибольшее количество гидрохимических аномалий выявлено в зонах тайги, смешанных и широколиственных лесов. По показателям наибольшая доля аномалий характерна для сульфатов и ионов кальция. В пространственном распределении выделяются отдельные территория с преобладанием гидрохимических аномалий антропогенного типа (например Кольский полуостров) или с формированием аномалий преимущественно естественного генезиса (в бассейнах рек в зоне тайги – Северная Двина, реки Карелии и др.).

3. Во временном аспекте проявляется разнонаправленность тенденций изменчивости концентраций химических веществ в воде рек ЕЧР по большинству показателей. В целом меньше всего трендов отмечается в изменчивости концентраций ионов магния, кальция и гидрокарбонатов (менее 50 % случаев), больше всего – для органических веществ, соединений марганца, железа и нефтепродуктов (70-85 %). Большинство из выявленных тенденций имеют убывающую направленность, следовательно, можно прогнозировать улучшение качества речных вод ЕЧР в ближайшей перспективе.

4. Пространственная неоднородность качества речных вод ЕЧР проявляется в изменчивости степени загрязненности воды рек как внутри природных зон, так и между ними. В зональной изменчивости с севера на юг прослеживается общая закономерность возрастания доли стабильно «очень загрязненных» (3-й класс) или «грязных» (4-й класс качества) речных участков, что обусловлено возрастанием антропогенной нагрузки на фоне повышенного естественного содержания макрокомпонентов в реках южных районов. Временная динамика качества речных вод ЕЧР за период с 1990 по 2015 гг. проявляется в тенденциях к стабилизации или снижению степени ее загрязненности для большинства участков рек во всех природных зонах ЕЧР, что положительно повлияет на качество воды в сторону его улучшения в будущем.

5. Предложен алгоритм комплексной оценки качества воды и состояния участков рек (или речных систем) с учетом экосистемного подхода, бассейнового принципа и необходимости учета регионального геохимического фона. Впервые для участков рек степной зоны ЕЧР в бассейне Нижнего Дона на основе данных комплексных геохимических и экотоксикологических исследований проведена оценка качества воды и состояния речных систем с учетом региональных особенностей.

Соответствие Паспорту специальности

Основные научные результаты диссертационного исследования соответствуют Паспорту специальности 1.6.21. Геоэкология.

Пункт паспорта специальности 4. «Глобальные и региональные экологические кризисы – комплексные изменения окружающей среды и ее компонентов…» представлен в диссертации региональными закономерностями изменения качества воды и степени ее загрязненности, когда при наличии тренда на ухудшение качества воды высока вероятность возникновения чрезвычайных экологических ситуаций в водных

системах за счет высокого содержания приоритетных загрязняющих веществ, превышающего ПДК в 30-50 раз и более.

Пункт 5 «Природная среда и индикаторы ее изменения под влиянием естественных природных процессов и хозяйственной деятельности человека (химическое и радиоактивное загрязнение … поверхностных и подземных вод…)» реализован в результатах выявления закономерностей взаимосвязи тенденций изменения химического состава и качества речных вод с плотностью населения, степенью хозяйственной деятельности и уровнем антропогенной нагрузки на ландшафты. Выявленные гидрохимические аномалии природного или антропогенного генезиса могут служить индикаторами химического загрязнения речных вод в пределах речных бассейнов ЕЧР.

Пункту 14 «Научные основы организации геоэкологического мониторинга природно-технических систем и обеспечение их экологической безопасности...» соответствует предлагаемая концептуальная схема (алгоритм) комплексной оценки качества воды и состояния участков рек по комплексу гидрохимических, гидробиологических, геохимических и экотоксикологических показателей, а также учет региональных особенностей функционирования речных систем. Результаты оценки трендов изменения содержания приоритетных загрязняющих веществ могут быть использованы при прогнозных оценках качества воды и для обеспечения экологической безопасности в бассейнах рек ЕЧР.

Теоретическая и практическая значимость работы

Представленные в работе результаты исследования являются базовыми для отдельных разделов общей гидрохимии и региональной гидрохимии, вносят вклад в совершенствование методологии оценки качества поверхностных вод и состояния водных объектов.

Результаты исследования могут быть использованы при планировании природоохранной деятельности в пределах водосборов рек ЕЧР, при оценке современного их экологического состояния и разработке экологически обоснованных водоохранных мероприятий, при оценке антропогенного влияния и уровня загрязненности водных объектов. Результаты могут также использоваться заинтересованными организациями для разработки региональных критериев оценки качества воды и состояния водных объектов.

Материалы исследований могут быть применены при решении конкретных региональных прикладных задач в области управления водными ресурсами, оценки и прогноза качества воды рек, восстановления и сохранения их экосистем, а также при реализации природоохранных мероприятий.

Материалы диссертационного исследования использованы при разработке учебных программ и пособий, чтении лекционных курсов по дисциплинам «Гидрохимия и охрана водных ресурсов», «Методы и средства контроля качества поверхностных вод», «Устойчивое развитие и экологическая безопасность» и проведении практических занятий, учебных комплексных практик студентов кафедры геоэкологии и прикладной геохимии Южного федерального университета.

Личный вклад автора заключается в развитии классических основ гидрохимии в части обоснования гидрохимической зональности (для содержания в воде рек биогенных и органических веществ, соединений металлов) и основ региональной гидрохимии в современных условиях природопользования в бассейнах рек ЕЧР, в совершенствовании методических подходов к оценке качества воды и состояния участков рек с учетом региональных особенностей и фоновых характеристик.

Автором проведены сбор, обобщение и анализ многолетних фондовых и справочно-режимных данных о химическом составе и качестве вод рек ЕЧР. Проанализированы существующие отечественные и зарубежные подходы в области оценки качества воды и состояния водных объектов. Проведен основной комплекс работ в части составления табличного материала, картосхем, анализа и интерпретации полученных результатов, сформулированы выводы и основные закономерности.

Многолетние исследования проводились автором в разные годы в составе научных коллективов Гидрохимического института, кафедры геоэкологии и прикладной геохимии ЮФУ и Института водных проблем РАН в рамках выполнения тем государственного задания, договоров и грантов РФФИ и РНФ.

Личный вклад автора заключается в активном выполнении грантов РФФИ № 12-05-00084 «Оценка уровня антропогенной нагрузки и экологического состояния устьевых экосистем крупных рек России за многолетний период» (2012-2013 гг.) и № 14-05-00144 «Опасные загрязняющие вещества в реках России (соединения ртути, свинца, формальдегид, лигносульфонаты и др.) и их влияние на экологическое состояние речных экосистем», грантов РНФ № 14-17-00376 «Интегральная оценка и прогноз

состояния водных ресурсов и их качества в пределах техногенно нарушенных геосистем углепромышленных территорий на основе комплексных геохимических, геофизических и экотоксикологических исследований» (2014-2016 гг.) и № 17-17-01262 «Анализ пространственно-временных изменений качества водных ресурсов Европейской части России, динамика их состава и загрязнений за последние 50 лет под влиянием нестационарного климата и хозяйственной деятельности на водосборах» (2017-2019 гг.), а также в участии в качестве исполнителя при реализации ФЦП «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012-2020 годах». Часть результатов получены при выполнении гранта РФФИ № 18-05-60165 «Тенденции многолетних изменений химического состава воды и экологический риск в речных экосистемах Российской Арктики под влиянием нестационарного климата и хозяйственной деятельности на водосборах» (2018-2021 гг., руководитель О.С. Решетняк).

Автор принимала непосредственное участие во всех стадиях исследований от постановки задач до публикации результатов в научных журналах, участвовала в экспедиционных работах. Все основные обобщения выполнены автором лично, на всех этапах работы результаты исследования обсуждались с коллегами и научным консультантом.

Достоверность и апробация результатов

Достоверность полученных результатов исследования обеспечивается использованием обширных многолетних данных, в том числе полученных в экспедиционных исследованиях, применением различных современных методов и походов к анализу и оценке многолетней гидрохимической информации, оценке качества воды.

Результаты исследований по теме диссертационного исследования опубликованы и докладывались на международных и всероссийских конференциях, среди которых: VII Гидрологический съезд (Санкт-Петербург, 19-21 ноября 2013); 15-й Международный научно-промышленный форум «Великие реки-2013» (Нижний Новгород, 15-18 мая 2013); V Международный конгресс «Чистая вода. Казань» (Казань, 26-28 марта 2014); Научная конференция с международным участием «Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод» (Ростов-на-Дону, 8-10 сентября 2015); Четвертая Всероссийская научная конференция с международным

участием «Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов» (Москва, 15-18 сентября 2015); Научная конференция с международным участием «Геоэкологические проблемы углепромышленных территорий» (Ростов-на-Дону, 21-23 октября 2015); XIII Международный симпозиум и выставка «Чистая вода России-2015» (Екатеринбург, 17-19 марта 2015); Всероссийская научная конференция «Научное обеспечение реализации «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года»» (Петрозаводск, 11 июля 2015); Международная научная конференция «Вопросы сохранения биоразнообразия водных объектов» (Ростов-на-Дону, 27 ноября 2015); VII Международная научно-практическая конференция «Экологические проблемы. Взгляд в будущее» (Ростов-на-Дону, 12-16 октября 2015); Международная научная конференция государств-членов ОДКБ «Проблемы безопасности окружающей среды» (Армения, г. Ереван, 27-29 сентября 2016); Всероссийская научная конференция с международным участием «Водные ресурсы: новые вызовы и пути решения» (Сочи, 02-07 октября 2017); Всероссийская научная конференция «Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды. Основные результаты и пути развития» (Москва, 20-22 марта 2017); 2018 International Conference on «Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications» (PHENMA 2018) (Busan, Republic of Korea, August 9-11, 2018); Восьмой Международный симпозиум «Степи Северной Евразии» (Оренбург, 9-13 сентября 2018); Всероссийская научно-практическая конференция «Водные ресурсы России: современное состояние и управление» (Сочи, 8-14 октября 2018); Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Экология родного края: проблемы и пути их решения» (Киров, 23-24 апреля 2018); Всероссийская научная конференция с международным участием «Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения» (Нижний Новгород, 8-14 сентября 2019); Всероссийская научно-практическая конференция «Водохранилища Российской Федерации: современные экологические проблемы, состояние, управление» (Сочи, 23-29 сентября 2019); Международная научная конференция «Актуальные направления сбалансированного развития горных территорий в контексте междисциплинарного подхода» (Карачаевск, 27-29 сентября 2019); Всероссийская конференция «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития» (Санкт-Петербург, 18-19 декабря 2019); II Международная научная конференция «Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений

и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и индустриальных вызовов» («Опасные явления – II») (Ростов-на-Дону, 6-10 июля 2020); Всероссийская научно-практическая конференция «Глобальные и региональные аспекты устойчивого развития: современные реалии» (Грозный, 23-24 октября 2020); II Всероссийская научная конференция с международным участием «Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды. Экосистемы и климат Арктической зоны», Москва, 25-27 ноября 2020 г.; GEC 2021: International Research Conference on Global Environmental Changes: Ecosystems, Climate, Natural Resources, Humans (Барнаул, 14 сентября, 2021); Всероссийская конференция с международным участием «Трансграничные водные объекты: использование, управление, охрана» (Сочи, 20-25 сентября 2021); XI Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа (ГЕОКАВКАЗ-2022)» (г. Махачкала, 15-19 июня 2022 г.); Международный научный форум, посвященный 20-летию ЮНЦ РАН (г. Ростов-на-Дону, 8-10 февраля 2023 г.); Международная научная конференция «Современное развитие биогеохимических идей В.И. Вернадского», посвященная 160-летию со дня рождения В.И. Вернадского (ГЕОХИ РАН, г. Москва, 26-17 января 2023 г.)

Публикации

Всего по теме диссертационного исследования опубликовано более 100 работ. Основные положения диссертации изложены в отдельных разделах трех монографий, одного Атласа и в 53 статьях, опубликованных в рецензируемых международных и российских научных журналах (из них 28 – в журналах, индексируемых в Scopus/WoS, 25 – в журналах, рекомендованных ВАК). В рамках проведенных исследований созданы и зарегистрированы две базы данных.

База данных: Макрокомпоненты речных вод в бассейне р. Северский Донец (в пределах Ростовской области) (Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2020620677 от 15.04.2020 г.).

База данных: Химический сток рек Европейской части арктической зоны России (Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2020621168 от 08.07.2020 г.).

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, 7 глав, заключения и приложения. Объем

работы составляет 369 страниц текста, включая 46 картосхем и рисунков, 69 таблиц, два приложения. Список используемой литературы содержит 316 наименований работ отечественных и зарубежных авторов.

Благодарности

Автор выражает признательность своему научному консультанту, доктору геолого-минералогических наук, профессору Закруткину Владимиру Евгеньевичу за консультации и неоценимую помощь, искреннюю благодарность коллегам по лаборатории дистанционных и химико-биологических методов наблюдений за состоянием и загрязнением водных объектов Гидрохимического института к.х.н. Л.С. Косменко, к.б.н. А.О. Даниленко и к.б.н. М.Ю. Кондаковой за совместную работу при выполнении отдельных частей исследования, за поддержку и критические замечания. Автор выражает особую признательность всем своим коллегам преподавателям кафедры геоэкологии и прикладной геохимии ЮФУ за совместные экспедиционные исследования и д.б.н. Е.Н. Бакаевой за предоставленные данные токсикологических исследований, использованные в работе, коллегам из лаборатории гидрогеологических проблем охраны окружающей среды Института водных проблем РАН д.г.-м.н. Р.Г. Джамалову, Т.И. Сафроновой, К.Г. Калагур и К.Г. Власову за поддержку и помощь в подготовке картографического материала.

Особая признательность безвременно ушедшему чл.-корр. РАН, д.г.-м.н., профессору А.М. Никанорову за советы и веру в автора работы.

ГЛАВА 1 РЕЧНЫЕ ВОДЫ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ: СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ И ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА

Одним из основоположников естественнонаучного направления науки в России является Владимир Иванович Вернадский. Он внес неоценимый вклад в создание и развитие многих научных направлений в области Наук о Земле: геохимии, учение о биосфере, экологической геохимии, геохимии природных вод, гидрогеология и др. В.И. Вернадский в своей работе «История природных вод» обосновал взаимосвязь поверхностных и подземных вод [27]. И эта закономерность легла в основу изучения влияния подземных вод на поверхностную гидросферу как ведущего факторов формирования химического состава речных вод, особенно в тех районах, где есть активный водообмен.

Учения В.И. Вернадского носили глобальный характер, он показал роль воды в глобальной эволюции Земли, ее уникальность и значимость для биосферы («вода определяет и создает всю биосферу»). По-мнению ученого, именно природная вода определяет «всю химию» земной коры и среду жизни, все химические реакции в природе протекают в водных растворах [27].

Дальнейшее развитие идеи В.И. Вернадского получили в работах отечественных ученых-геохимиков, изучавших геохимию ландшафтов А.И. Перельмана, Н.С. Касимова, М.А. Глазовской, Ю.Е. Саета, Е.П. Янина и др. [46, 162, 163, 229], и гидрохимиков – специалистов в области гидрохимии природных вод О.А. Алекина [4], Л.В. Бражниковой, А.А.Зенина, А.М. Никанорова [134] - [137], М.П. Смирнова [235]-[239] и многих других.

Как известно, «природные воды, являющиеся носителями вещества и энергии, выступают в качестве наиболее динамичного агента, связывающего природные объекты основных географических оболочек Земли - атмосферы, литосферы, биосферы. При этом поверхность суши является зоной, характеризующейся наивысшими концентрациями вещества и солнечной энергии, наибольшей интенсивностью биогенных процессов, сферой активной хозяйственной деятельности человека. Все это порождает огромное разнообразие условий, факторов, процессов, формирующих химический состав и тип природных вод» [134, с. 115].

«По характеру воздействия факторы, определяющие формирование химического состава природных вод, целесообразно разделить на следующие группы: физико-географические (рельеф, климат, испарение, выветривание, почвенный покров); геологические (состав горных пород, тектоническое строение, гидрогеологические условия); физико-химические (химические свойства элементов, кислотно-щелочные и окислительно-восстановительные условия, смешение вод и катионный обмен); биологические (деятельность растений и живых организмов); искусственные или антропогенные» [134, с. 115].

В работах основоположника отечественной науки гидрохимии О.А. Алекина [4] и его последователей указывается, что «состав природной воды определяет предшествующая ему история, то есть путь совершенный водой в процессе своего круговорота. Количество и состав растворенных веществ в воде зависит от состава тех веществ, с которыми она соприкасалась и взаимодействовала, и от условий, в которых происходило это взаимодействия. Основное преобразование воды начинается после ее выпадения на земную поверхность. Просачиваясь через растительность и почву, вода обогащается солями и органическими веществами, меняет свой газовый состав. Фильтруясь через подстилающие горные породы, вода продолжает трансформировать свой состав... Характер формирования природных вод зависит от сочетания и последовательности проявления указанных факторов» [4, 134].

Химический состав природных вод представляет собой сложный комплекс растворенных газов, различных минеральных солей и органических соединений. В природных водах растворены почти все известные на земле химические элементы в виде простых и сложных ионов, комплексных соединений, растворенных или газообразных молекул, стабильных и радиоактивных изотопов [134].

«Распределение химических элементов в природных водах определяется типом природной системы (геохимической среды) и свойствами самих элементов и в целом подчиняется основным геохимическим закономерностям. С увеличением порядкового номера элементов в периодической системе Д.И. Менделеева наблюдается убывание их концентрации, а распространенность четных химического элемента, как правило, более высокая, чем соседних нечетных, что соответствует известному закону Оддо-Гаркинса» [134, с. 54].

Химический состав природных вод является важнейшим показателем, характеризующим качество вод, по которому можно классифицировать воды по их минерализации, составу, оценивать обеспеченность водных объектов питательными веществами, необходимыми для развития водной флоры и фауны, устанавливать степень загрязненности воды, выявлять источники загрязнения, определять соответствие воды конкретному виду водопользования и др. [134, 220].

1.1 Факторы формирования химического состава речных вод на территории Европейской части России (ЕЧР)

Европейская часть России (ЕЧР) характеризуется широким биоклиматическим диапазоном – от арктической пустыни и тундры до полупустынь и пустынь (рисунок 1). Такая сложность строение территории обусловливает необходимость учета региональных особенностей формирования и функционирования водных объектов [195, 212].

Важнейшими природными факторами формирования химического состава речных вод ЕЧР из перечисленных выше являются количество и интенсивность осадков (в том числе толщина снежного покрова), химический состав почв и грунтов, их увлажненность. Данные факторы подчиняются принципу гидрохимической зональности, обусловливая закономерное изменение гидрохимических показателей (средних величин и сезонных колебаний) от одной природной зоне к другой [4].

Особое внимание следует обратить на то, что, несмотря на высокую изменчивость компонентного состава, каждой реке, а нередко и каждому участку свойственны свои особенные условия их формирования и функционирования.

Важными факторами процесса формирования химического состава поверхностных вод служат: количество и интенсивность атмосферных осадков, их химический состав; радиационный баланс территории; валовая увлажненность почвы и подстилающего грунта, их фильтрационные свойства; промерзание грунта и толщина снежного покрова зимой; химический состав почв и грунтов, растворимость его компонентов. Данные факторы имеют хорошо выраженное зональное распределение, обуславливая закономерное изменение от одной природной зоны к другой средних величин и сезонных колебаний. Эти же закономерности позволяют говорить о том, что

водный баланс речных водосборов имеет также четкие зональные различия, что, в свою очередь, является основным гидрологическим фактором формирования химического состава вод и выражается в зональности минерализации и химического состава речных вод, обусловленных процессами водообмена и растворения компонентов почв и четвертичных отложений [261].

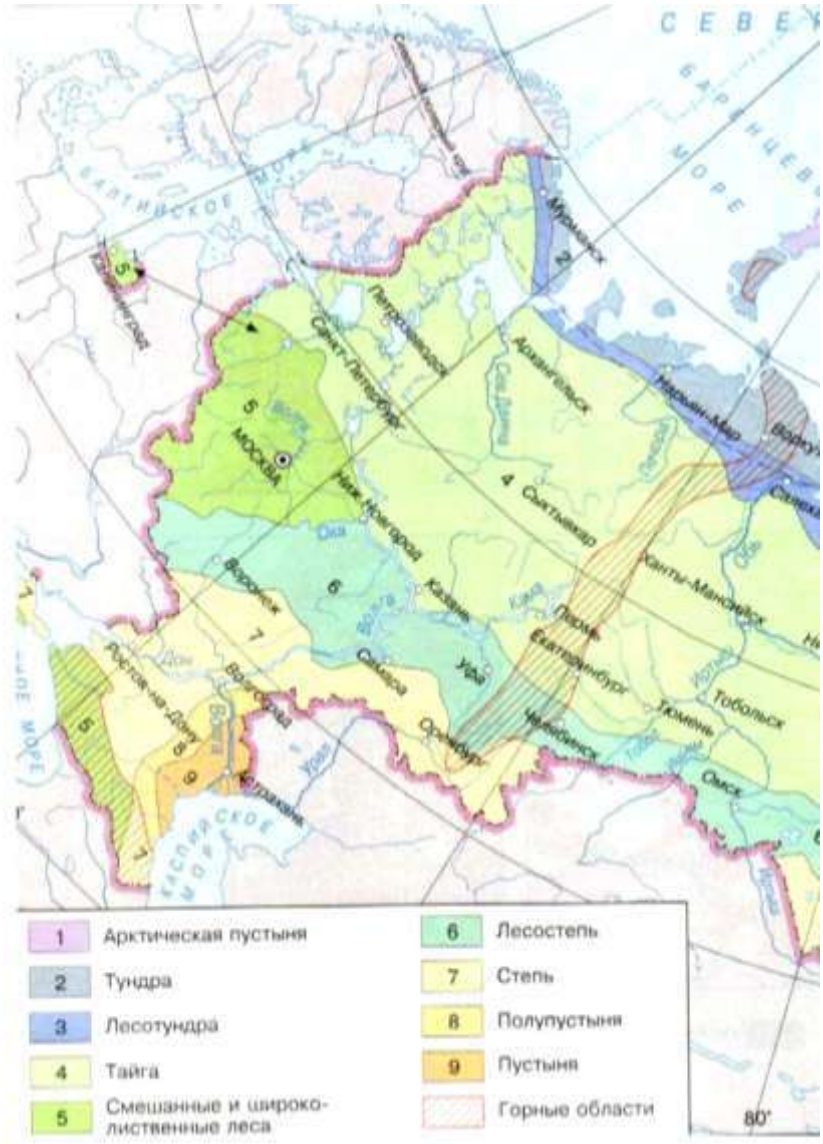


Рисунок 1 – Природные зоны Европейской части России (фрагмент карты [37])

Как отмечается в работе А.А. Соколова «каждой ландшафтной географической зоне свойственна определенная степень ее водообеспеченности. С изменением географического ландшафта изменяется густота речной сети, водоносность рек, количество рек и озер, степень заболоченности и глубина залегания подземных вод.

Изменение касается не только количественных, но и качественных характеристик – меняется водный баланс в целом. Следовательно, по географическому ландшафту в известной мере можно судить и о присущих ему качественных и количественных характеристиках вод» [241, с. 107].

Неоднородность природных условий подчеркивается большим диапазоном колебаний увлажнения и теплообеспечения в разных регионах. Перечисленные факторы обуславливают различный растительный и почвенный покровы, что в совокупности самым непосредственным образом влияет на формирование химического состава воды и функционирование водных объектов.

Зональные особенности гидрографической сети

Проблему охраны природы, рационального использования природных ресурсов и прогноза их изменений в окружающей среде невозможно решать без учета особенностей распределения гидроклиматических ресурсов по конкретным широтным зонам.

На поверхности Земли наиболее выражена широтная географическая зональность, находящая своё отражение в различных геодинамических процессах: выветривании и почвообразовании, эоловых процессах, деятельности ледников, поверхностных и подземных вод [111].

Зональность поверхностных вод находит свое отражение в:

- зональности густоты речной сети;

- зональности основных гидрологических характеристик и, прежде всего, стока поверхностных потоков;

- зональности теплового режима поверхностных и питающих их грунтовых вод в связи с общими особенностями температурного режима;

зональности химического состава поверхностных и грунтовых вод;

- зональности глубины залегания грунтовых вод.

Густота речной сети на равнинах достигает максимума в тайге, откуда закономерно уменьшается к северу и югу. С продвижением к югу также постепенно увеличивается количество временных водотоков, а число постоянных сокращается. С увеличением высоты местности (на возвышенностях, в горах) густота речной сети возрастает, достигая максимума на Кавказе [261].

Явление гидрологической зональности территории четко проявляется для ЕЧР, где были выделены В.А. Троицким [259] гидрологические зоны (соответствующие

широтным зонам или геоботаническим природным зонам) которые закономерно сменяют друг друга по широтам (таблица 1).

Таблица 1 – Гидрологические зоны на территории Европейской части России [259]

Широтная зона ЕЧР	Гидрологическая зона	Коэффициент стока (по [240])
зона тундры (тундровая и лесотундровая зоны)	влажная (сырая) зона	К > 0,80
зона лесная (таежная зона, зона смешанных и широколиственных лесов)	избыточно влажная зона	0,80-0,40
зона лесостепи	переменно влажная зона	0,40-0,30
зона степи и полупустыни	полусухая зона	0,30-0,10
зона пустыни	сухая	К < 0,10

Зональность стока поверхностных потоков (гидрологическая зональность) проявляется в закономерной смене в широтном направлении коэффициента стока (К), представляющего собой отношение величины стока к сумме осадков за год и площади водосборного бассейна [241].

Зонален вид стока: в тундре преобладает внутрипочвенный сток и поверхностный сток болотного типа, в лесной зоне основным является грунтовый сток; в степях и полупустынях - поверхностный сток (склоновый), в пустынях стока практически нет.

Зонален тип питания рек – с севера на юг закономерно уменьшается доля грунтового питания и вообще водности рек в периоды летней и зимней межени, когда они в значительной мере переходят на грунтовое питание. Ярким показателем зональности режима рек является также пересыхание рек, которое по направлению к югу приобретает все большие размеры, распространяясь не только на малые, но и на довольно значительные реки. С севера на юг увеличивается доля снегового питания, а вот доля дождевого питания сменяется не по столько по широтному градиенту, сколько по долготным секторам в направлении от центральных районов к восточным [241].

Зональность химического состава вод проявляется в закономерном увеличении степени их минерализации и жесткости и уменьшении содержания органического вещества с севера на юг. В этом отношении большое значение имеет учение А.П. Виноградова о биогеохимических провинциях, которые определяются

зональностью химического состава почв, а также климатической, фитогеографической и геохимической зональностью биосферы. Биогеохимические провинции – это области на поверхности Земли, различающиеся по содержанию (в почвах, водах и т. д.) химических соединений, с которыми связаны определенные биологические реакции со стороны местной флоры и фауны [30, 31].

«Гидрохимическая зональность является частным случаем проявления общего закона зональности. Она свойственна грунтовым водам, то есть первому от поверхности водоносному горизонту, ясно прослеживается также у поверхностных и атмосферных вод. Все эти природные воды находятся под непосредственным воздействием физико-географических факторов: климатических, почвенных и геоботанических… В соответствии с зональным изменением климата, почв, растительности происходят и зональные изменения в составе природных вод. Сущность географической зональности в химическом составе природных вод состоит в том, что по мере продвижения с севера на юг наблюдается постепенное увеличение минерализации и закономерное изменение химического состава природных вод, то есть вырисовывается смена гидрохимических зон» [134, с. 294]. Несмотря на большую динамичность и изменчивость химического состава и минерализации речных вод по сезонам года для них четко наблюдается гидрохимическая зональность. Воды рек аридной зоны более минерализованы, чем воды рек гумидной зоны. «Средний химический состав речной воды для больших бассейнов на определенном отрезке времени является относительно постоянной величиной. Средняя годовая минерализация речных вод изменяется от 52 мг/л для влажных территорий до 344 мг/л для засушливых» [134, с. 295].

С учетом изменчивости минерализации и химического состава природных вод проводится их классификация. По классификации О.А. Алекина все природные воды по преобладающему аниону подразделяются на три класса [4]: гидрокарбонатные; сульфатные; хлоридные. Выделенные три класса дают в общих чертах гидрохимический облик воды. К гидрокарбонатному классу относится большая часть маломинерализованных вод рек, озер и некоторые подземные воды. К классу хлоридных вод относятся преимущественно высокоминерализованные воды океана, морей, соляных озер, подземные воды закрытых структур и пр. Воды сульфатного класса по распространенности и значению минерализации являются промежуточными между гидрокарбонатными и хлоридными водами. Генетически они связаны с различными

осадочными породами. Далее классы делятся по преобладающему катиону на три группы вод: кальциевую, магниевую и натриевую. Каждая группа подразделена на четыре типа вод, определяемых соотношением между ионами в эквивалентах [134].

Зональные особенности гидрографической сети Кольского полуострова

Гидрографическая сеть Кольского полуострова находится в условиях продолжительной, прохладной зимы, короткого и сравнительно теплого лета. Большое количество осадков и относительно малое испарение обусловливают здесь общее избыточное увлажнение местности. Поверхность района сильно заболочена. Для рек характерным является большая озерность их бассейнов. Реки отличаются высокой относительной водностью. Коэффициент стока равен в среднем 0,6-0,8. Трудно поддающиеся размыву горные породы, большая залесенность и заболоченность бассейнов приводят к тому, что 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 [261].

Зональные особенности гидрографической сети Русской равнины

На территории Русской равнины зональность гидрографической сети выражена наиболее ярко по сравнению с другими физико-географическими частями ЕЧР.

Зоны тундры и лесотундры занимают крайний север Русской равнины. В гидрологическом отношении для этой зоны характерно малое испарение с водной поверхности. Коэффициент стока высокий - достигает 0,8 и более. При большом поверхностном стоке почвы хорошо промыты, что обусловливает малую минерализацию вод. Воды здесь мягкие, гидрокарбонатного класса и отличаются повышенным содержанием органических веществ [241].

В лесной зоне, включающая в себя зоны тайги и смешанных и широколиственных лесов, испарение с водной поверхности и поверхности речных бассейнов возрастает по сравнению с зоной тундры. Однако из-за относительно большого уровня атмосферных осадков (650-800 мм) поверхностный сток здесь высокий и относительная водность рек велика.

Коэффициент стока колеблется от 0,8 на севере до 0,4 на юге зоны [241]. Речная сеть рассматриваемой территории по сравнению с другими районами характеризуется большой густотой. Эта сеть, вследствие малых уклонов, не в состоянии быстро отводить

избыток поверхностных вод, с чем и связана значительная заболоченность района. Воды лесной зоны слабо минерализованы (до 200 мг/л); они принадлежат к гидрокарбонатному классу, мягкие и отличаются повышенным содержанием органических веществ вследствие значительного поступления болотных вод. Зона смешанных и широколиственных лесов по сравнению с зоной тайги отличается большими потерями на испарение и меньшим поверхностным стоком, так как лиственные леса испаряют влаги больше, чем хвойные [241, 261].

Лесостепная зона является переходной от лесной зоны на севере к степной на юге. «Количество атмосферных осадков (400-600 мм) здесь меньше по сравнению с лесной зоной и составляет 450-500 мм в год, потери на испарение сильно возрастают, а сток соответственно снижается. Коэффициент стока уменьшается до 0,2-0,3. Грунтовые воды находятся здесь на значительной глубине - до 20-25 м, поэтому только средние и большие реки, врезаясь ниже уровня грунтовых вод, имеют обеспеченное грунтовое питание. Степень заболоченности резко уменьшается... В связи с большими потерями на испарение и относительно малым стоком минерализация вод увеличивается (до 500 мг/л), появляются первые признаки засоления вод и почв» [241, с. 125].

В степной зоне сильно сокращается поверхностный сток и снижается количество атмосферных осадков (350-400 мм в год), и относительная водоносность рек сильно падает. В силу этого реки степной зоны маловодны. «Испарение с водной поверхности резко возрастает и достигает 1000 мм в год… Коэффициент стока уменьшается до 0,2-0,1 и менее» [241, с. 126].

В таких природно-климатических условиях речные воды степной зоны, как правило, сильно минерализованы (до 1000 мг/л) и характеризуются большой жесткостью; происходит трансформация (естественная метаморфизация) их химического состава, меняется класс и тип воды, здесь преобладают уже не карбонатные, а сульфатные воды [241].

«Полупустынная и пустынная зоны характеризуются исключительной сухостью... Малое количество атмосферных осадков (200-100 мм в год), высокая потенциальная возможность испарения, которое при наличии влаги может достигать 1000-1700 мм в год, создают условия, при которых эти зоны исключительно бедны водой. Местные реки отсутствуют, так как выпадающие осадки полностью расходуются на испарение и поверхностного стока не дают или образуют очень малый эпизодический

сток» [241, с. 126]. Соответственно, минерализация воды возрастает до 1000-1500 мг/л и более, жесткость превышает 30°Ж. Почвы и грунты, а также поверхностные и грунтовые воды сильно засолены.

Горные районы (горно-степной и горно-лесной пояса). «Природные условия горных районов зависят от высоты места над уровнем моря… В отличие от широтной зональности, прослеживаемой на равнинах, по отношению к горным областям можно говорить о смене зон в вертикальном направлении… В гидрологическом отношении вертикальная зональность проявляется весьма многообразно. Сущность ее заключается в том, что с увеличением высоты: 1) увеличивается количество атмосферных осадков, 2) уменьшаются потери на испарение с водной поверхности и поверхности суши, 3) увеличивается коэффициент и величина поверхностного стока… Вместе с высотой изменяется также и химический состав вод, что проявляется, прежде всего, в уменьшении их минерализации» [241, с.127].

Геохимические факторы формирования химического состава речных вод на территории ЕЧР

Неоднородность химического состава природных вод (поверхностных и подземных) во многом определяется особенностями миграции элементов в окружающей среде и разнообразием миграционных процессов, протекающих в ландшафтах. Геохимические особенности формирования химического состава речных вод подчиняются основополагающим геохимическим закономерностям, таким как [163]:

- повсеместное распространение химических элементов во всех геосферах при резком преобладании их рассеянного состояния над концентрированным;

- непрерывная миграция химических элементов во времени и пространстве, которая в биосфере осуществляется при непосредственном участии живого вещества;

- поведение химических элементов в биосфере зависит от миграционной и геохимической структуры ландшафтов, в свою очередь подчиненной географической закономерности (закону широтной и вертикальной зональности);

- каждая ландшафтная зона - это геохимическая зона с особым типом биологического круговорота элементов и своеобразными условиями их миграции;

- ведущая роль воды в геохимических процессах биосферы, в том числе и миграции элементов в ландшафтах.

Известное в гидрохимии представление о том, что качественный состав речной воды зависит от физико-географических условий, находит свое отражение в формировании на территории ЕЧР ландшафтов, территорий, малых водосборов, характеризующихся различным химическим составом поверхностных вод. Специфические особенности геохимии природно-территориальных комплексов, на территориях которых формируется компонентный состав рек, во многом определяют его разнообразие.

Тундровые ландшафты. «Из-за низкой температуры разложение остатков организмов в тундре протекает медленно, многие группы микроорганизмов не функционируют или же работают очень слабо (бактерии, разлагающие клетчатку и др.). Это ведет к накоплению органических веществ на поверхности и в почве» [163, с. 315]. Малая биомасса в тундре и лесотундре связана с недостатком тепла. Также происходит «накопление большого количества подстилки, важное участие в биологическом цикле играют такие элементы как Al, Fe, Mn». Для данных ландшафтов характерна низкая интенсивность биологического круговорота и «связанная с этим низкая самоорганизация определяет малую устойчивость ландшафта к антропогенному воздействию. Тундровый ландшафт трудно и медленно восстанавливается» [163, с. 315].

Водные объекты Северо- и Западно-Кольской провинций расположены в области умеренно-континентальных тундр без многолетней мерзлоты [40, 41] с южнотундровыми ландшафтами кислого класса с общей геохимической формулой (1) [163]:

$$H^+ - Fe^{2+}\frac{O,N,P,K,Ca,Na,Mg\ldots}{H,H_2O,\ldots} \qquad (1)$$

В таких природных условиях формируются ультрапресные поверхностные воды, резко неравновесные за счет высокого содержания в холодных водах растворенного кислорода и органического вещества (трудноокисляемого). В качестве источника минерализации особое значение имеют атмосферные осадки, особенно вблизи морских побережий [163].

«Характерной особенностью водных объектов Кольского полуострова является присутствие в природных незагрязненных водах соединений меди, железа, цинка, никеля. Повышенные концентрации соединений металлов в этих водных объектах при отсутствии сбросов сточных вод и выбросов предприятий наблюдаются в меженные

периоды, когда питание осуществляется преимущественно грунтовыми водами» [139, с. 94].

Халькофильные структурно-формационные комплексы, являющиеся геологической основой данной территории [40]. Здесь сформировались места залегания различных полезных ископаемых и, как следствие, добычи медно-никелевых, железных руд, редкоземельных металлов, апатито-нефелинового концентрата и других руд, что стало причиной высоких концентраций в воде рек соединений никеля, меди, марганца, железа, фторидов и др. металлов. Это характерно для рек бассейнов Патсо-йоки, Печенги, Колы, Нивы, Умбы. «Для этих водных объектов свойственно наличие повышенного содержания загрязняющих веществ как в меженные периоды при малом разбавлении сточных вод, так и в период половодья и дождевых паводков при поступлении загрязненного поверхностного стока и усиления фильтрации из хвостохранилищ» [47, с. 20].

В Западной части Кольского полуострова выявлены месторождения полезных ископаемых, что сопровождается их активным освоением и формированием очага высокой экологической напряженности [99]. В местах разработки коренных месторождений происходит преобразование ландшафтов и загрязнение всех компонентов окружающей среды, что влечет за собой формирование преимущественно формирующихся смешанных и техногенных аномалий в области тундр. Влияние на гидрохимический режим рек проявляется в формировании повышенного фона по содержанию соединений тяжелых металлов [139].

Реки севера континентальной части ЕЧР располагаются в умеренно-континентальных и континентальных тундрах с многолетней мерзлотой. Области распространения многолетнемерзлотных пород характеризуются глубоким промерзанием грунтов, что сказывается на формировании потоков химических веществ внутри этих территорий. Низкие температуры также препятствуют разложению органических остатков, многие группы микроорганизмов функционируют слабо, что ведет к накоплению органического вещества на обширных северных равнинах. Типоморфными элементами южнотундровых ландшафтов кислого глеевого класса, в которых располагаются водные объекты Большеземельско-Малоземельской провинции, являются H и Fe [163], согласно формуле (2):

$$H^+ - Fe^{2+}\frac{O,N,P,K,Ca,Na\ldots}{H,Fe,H_2O,Al} \quad (2)$$

Кислые почвы содержат подвижные фульвокислоты, благоприятствующие высокой подвижности железа и алюминия. Медленное разложение органических остатков определяет слабую минерализацию вод и их обогащение растворенным органическим веществом и, как следствие, достаточно высокие показатели химического потребления кислорода на его окисление. Почвенные воды на этих пространствах кислые глеевые ультрапресные, как и поверхностные, гидрокарбонатно-кремнеземные, бурые от органического вещества, что порождает резкий дефицит многих элементов, особенно доступного азота. Низкая минерализация вод связана также с активным усвоением из почвенных растворов растениями растворимых форм главных ионов [162, 163].

Литофильно-сидерофильная структурная формация, на которой располагается Большеземельская-Малоземельская провинция, характеризуется в основном промежуточным коэффициентом накопления рудных элементов (2,5-5,0) [40]. Освоение полезных ископаемых здесь связано преимущественно с добычей нефтяных углеводородов, а высокоширотные условия препятствуют интенсивной урбанизации этих земель и развитию сельского хозяйства.

В лесотундровых ландшафтах (Восточно-Кольская провинция, частично Печорская), где преобладает физическое выветривание горных пород, геохимический фон территории определяют криолитопотоки. Интенсивность криолитопотоков при маломощном профиле почв поддерживает высокое содержание валовых форм железа и марганца, а их распределение на водосборе связано с процессами денудации [118]. Геохимическая формула лесотундровых ландшафтов ЕЧР [163] представлена выражением (3):

$$H^+ - Fe^{2+}\frac{O,N,P,K,Ca,Na\ldots}{H,H_2O\ldots} \quad (3)$$

Таежные ландшафты образуют наиболее распространенный тип ландшафтов Европейской части России [41]. Геохимическая обстановка определяется процессами разложения органического вещества. Разложение биомассы способствует образованию агрессивных фракций фульвокислот, которые выщелачивают первичные минералы и приводят к образованию органо-минеральных соединений и комплексов в водной среде.

Хорошее развитие биомассы, представленной в основном клетчаткой, лигнином и гемицеллюлозами определяет возможность биогенной аккумуляции на этих территориях S, P, Mn, K, Ca, Mg хвойными, следовательно, в тайге водных мигрантов с опадом возвращается значительно меньше, чем, например, в расположенных южнее широколиственных лесах [162, 163].

Западнотаежные ландшафты, к которым относятся Кольская провинция, северная часть Онежско-Двинской и Печорской, Пинего-Мезенская провинции, имеют общую геохимическую формулу (4) [163]:

$$H^+ - Fe^{2+}\frac{O,N,P,K,Ca,Mg,Co,Cu,F,I\ldots}{H,H_2O\ldots} \quad (4)$$

Кислая реакция геохимической подложки – лесной подстилки и верхних горизонтов почв – обусловлена низким содержанием в горных породах подвижных форм сильных оснований (Ca, Mg, Na, K) и присутствием части органических кислот в свободной форме. Разложение растительных остатков здесь идет по пути образования фульвокислот, нейтрализация которых осуществляется за счет Fe, Al и почвенных минералов, создается возможность кислого выщелачивания, которая реализуется на бескарбонатных породах кислого и кислого глеевого классов [163].

Экологическая напряженность на данных территориях достаточно неоднородная и колеблется от относительно низкой (некоторые участки Печорской и Мезенско-Двинской провинций) до относительно высокой (Карельская, Онежско-Двинская, частично Мезенско-Двинская и Тиманская) [99]. Это отражается в относительном равенстве долей техногенных и естественных гидрохимических аномалий в таежных участках Европейской территории России [93, 212].

К западнотаежным ландшафтам без многолетней мерзлоты относятся территории частично Прибалтийской и Верхневолжской провинций (Геохимические ландшафты…) с геохимической формулой (5) [163]:

$$H^+ - Ca^{2+}\frac{N,P,K,Ca,Na,Co,Cu,F,I\ldots}{\ldots} \quad (5)$$

В лесных ландшафтах (ландшафтах широколиственных лесов), представленных на территории ЕЧР Смоленско-Московской, Днепровско-Деснинской, Приокской, Мещерской, частично Северо-Приволжской провинциями, геохимическая обстановка определяется процессами гуматогенеза. Миграционная активность железа и

марганца снижается за счет увеличения мощности профиля почв, способствующей ослаблению процессов химического выветривания в нижней части профиля и активации процессов сорбции в верхней. Много накапливается гумуса (до 10% и более в горизонте A_1). Са и другие катионогенные элементы, образующиеся при разложении растительных остатков, нейтрализуют большую часть органических кислот, в связи с чем реакция гумусового горизонта почв слабокислая или даже нейтральная, хотя встречаются и кислые среды с pH = 4-5. В поглощающем комплексе часто преобладает Са [163].

Доминирующим отделом лесных ландшафтов на ЕЧР является восточноевропейский отдел переходного класса (Н-Са) (6) [163]:

$$H^+ - Ca^{2+}\frac{N,P,K,Ca,Na,Co,Cu,F\ldots}{\ldots} \quad (6)$$

В ландшафтах Н-Са класса верхние горизонты бурых и серых лесных почв выщелочены от карбонатов. Формирование химического состава грунтовых и поверхностных вод в основном зависит от разложения органических веществ. Поверхностные и грунтовые воды слабоминерализованы (менее 0,5 г/л), гидрокарбонатно-кальциевые [163].

Переходный (Н-Са) класс формируется на силикатных породах под сосново-широколиственными лесами на серых лесных (на суглинках) и дерновых лесных (на песках, элювии песчаников) почвах. В ландшафтах этого класса низкий литогеохимический фон легких по механическому составу пород и почв определяет обедненность золы растений микроэлементами. На аллювиальных равнинах Заволжья содержание большинства микроэлементов еще ниже, что указывает на определяющую роль геохимии пород и почв в биогеохимической специализации растений [163].

Реже представлены лесные ландшафты кальциевого класса, на лёссах, лессовидных суглинках, а в Поволжье и Приуралье – на пермских красноцветах [41] имеют геохимическую формулу [163] (7):

$$Ca^{2+}\frac{N,P,K\ldots}{\ldots} \quad (7)$$

В ландшафтах Са-класса коры выветривания и континентальные отложения содержат $CaCO_3$, в формировании химического состава вод важная роль принадлежит его растворению (помимо биологического круговорота). Воды здесь также гидрокарбонатно-кальциевые, но более минерализованные, часто жесткие. Водные

мигранты здесь активно вовлекаются в процесс биогенной аккумуляции и осаждаются за счет образования полуторных оксидов (Fe, Cu, Co, Ni) высокоподвижным глинистым веществом и гумусом в слабокислой среде. В местах распространения суглинков и других пород, богатых $CaCO_3$, компоненты ландшафтов богаты кальцием. Нейтральная глеевая среда снижает миграционную способность железа, но не марганца [163].

Лесные ландшафты дефицитны такими элементами, как N, P, K, местами – Co, Cи, Zn, Mn, J, Mo, B и др. Избыточных элементов практически нет (за исключением ландшафтов рудных месторождений) [163].

Хорошие климатические условия, плодородные почвы определили важную роль лесных ландшафтов в сельском хозяйстве, поэтому во многих районах ЕЧР леса вырублены и почвы распаханы. Поэтому обнаружить их в естественном состоянии практически невозможно.

Наивысший уровень экологической напряженности характерен именно для этих территорий [99]. Техногенные ландшафты характеризуются нарушением регионального фона на территориях как в местах промышленных производств, так и в результате сельскохозяйственного освоения земель, рядом с населенными пунктами, вдоль линейных объектов (железнодорожные пути, автомобильные дороги, трубопроводы и т.д.). При этом в наибольшей степени затронуты западные лесные ландшафты ЕЧР. Очень высокая экологическая напряженность сформировалась на территории Смоленско-Московской, Мещерской, Приокской, Днепровско-Деснинской провинций. Единственной провинцией в этой области со средним уровнем экологической напряженности является Приволжская.

Высокая антропогенная нагрузка сказывается на еще большем увеличении доли техногенных и техногенных аномалий содержания химических веществ в водной среде рек, при этом большинство аномалий относится к группе формирующихся [93, 212].

В луговых и лугово-степных ландшафтах геохимическая обстановка и миграция элементов определяются окислительно-восстановительными потенциалом почв и их кислотными свойствами, что обусловлено процессами глеегенеза и аккумуляции [41]. Такими ландшафтами представлены Среднерусская, Окско-Донская, Кинельско-Камская, Бугульминско-Белебеевская провинции. Геохимическая формула ландшафтов этих территорий приведена в формуле (8) [163]:

$$Ca^{2+} \frac{H_2O,N,P,K\ldots}{\ldots} \quad (8)$$

Глеевые процессы способствуют синтезу вторичных минералов типа алюмоферрисиликатов, а условия выпотной аккумуляции - коагуляции коллоидных растворов гидроксида железа и их кристаллизации, что затрудняет миграцию этого элемента. В составе почвенных растворов отмечается миграция кальциево-магниевых солей [163].

Очень высокий уровень экологической напряженности отмечается для Северо-Приволжской, Кинельско-Камской, Бугульминско-Белебеевской провинций [99], что может обусловливать формирование геохимических аномалий техногенного (антропогенного) типа в речных водах.

Степные ландшафты Хопер-Медведицкой, Донецко-Донской, Нижнедонской, Самаро-Иргизской физико-географических провинций и Провинции Общего Сырта богаче органическим веществом, однако бактериальный состав микрофлоры, нейтральная среда и высокое содержание кальция приводят к преобладанию гуминовых кислот над фульвокислотами [41, 163]. Геохимические особенности этих ландшафтов также описываются формулой (8).

Формирование химического состава речных вод степных ландшафтов связано с поступлением грунтовых и поверхностных вод, которые взаимодействуя с верхними горизонтами и размывая более глубокие слои черноземных почв и кору выветривания, растворяют соединения кальция – типоморфного элемента этих ландшафтов. Активные биологические процессы в водной среде, деятельность микроорганизмов и др. способствуют накоплению в ней углекислого газа и, следовательно, гидрокарбонатного иона (HCO_3^-). Поэтому речные воды имеют гидрокарбонатно-кальциевый состав со слабощелочной реакцией [163].

Миграция органоминеральных и легкоподвижных форм элементов проходит достаточно энергично. Наиболее подвижные – Cd, Pb, Cu, Co. Марганец и цинк активно вовлекаются в биоаккумуляцию [163].

В почвенном покрове степных ландшафтов велики потенциальные запасы азота, фосфора, калия и других микроэлементов, однако они слабо подвижны [163] и дефицитны для растений, что вынуждает использовать в этой зоне развитого сельского хозяйства азот- и фосфорсодержащие удобрения. Это сказывается на сложившемся

фоновом уровне азотсодержащих соединений в поверхностных водах. Территории луговых, лугово-степных и степных ландшафтов характеризуются высоким уровнем экологической напряженности [99].

Таким образом, литолого-геоморфологические особенности природно-территориальных комплексов оказывают важнейшее влияние на различия компонентного состава поверхностных вод. Не только почвы, но и живое вещество ландшафтов вовлекает в круговорот водные мигранты, аккумулируя их или возвращая с опадом и смывами с почв. Специфика природно-территориального комплекса проявляется в тесной связи между химическим составом всех его биотических и абиотических компонентов.

Подземные воды как фактор формирования химического состава речных вод на территории ЕЧР

Поземные воды являются одним из факторов формирования химического состава поверхностных вод. Как на территории России в целом, так и в пределах ЕЧР, в результате природных процессов формируются региональные гидрогеохимические провинции подземных вод с повышенными концентрациями химических элементов [100]-[102]. Гидрогеохимическая провинция представляет собой территорию, объединяющую комплекс водоносных горизонтов артезианских бассейнов или гидрогеологических массивов, подземные воды которых имеют повышенные (по отношению к ПДК) природные (фоновые) концентрации нормируемых химических элементов и веществ [100]. Выделяются следующие гидрогеохимические провинции (многие из них являются комплексными, т. е. в их подземных водах можно обнаружить высокие концентрации нескольких химических элементов) (рисунок 2).

Так, на ЕЧР расположена Прикаспийская гидрогеохимическая провинция сульфатно-хлоридных грунтовых вод. Гидрогеохимические провинции подземных вод с высокими содержаниями сульфатов и хлоридов распространены на территории Волго-Камского, Северо-Двинского, Восточно-Предкавказского артезианских бассейнов [101], что соответствует зонам лесостепей и степей и влияет на формирование химического состава речных вод, которые находятся в «гидравлической взаимосвязи с подземными водами» [169].

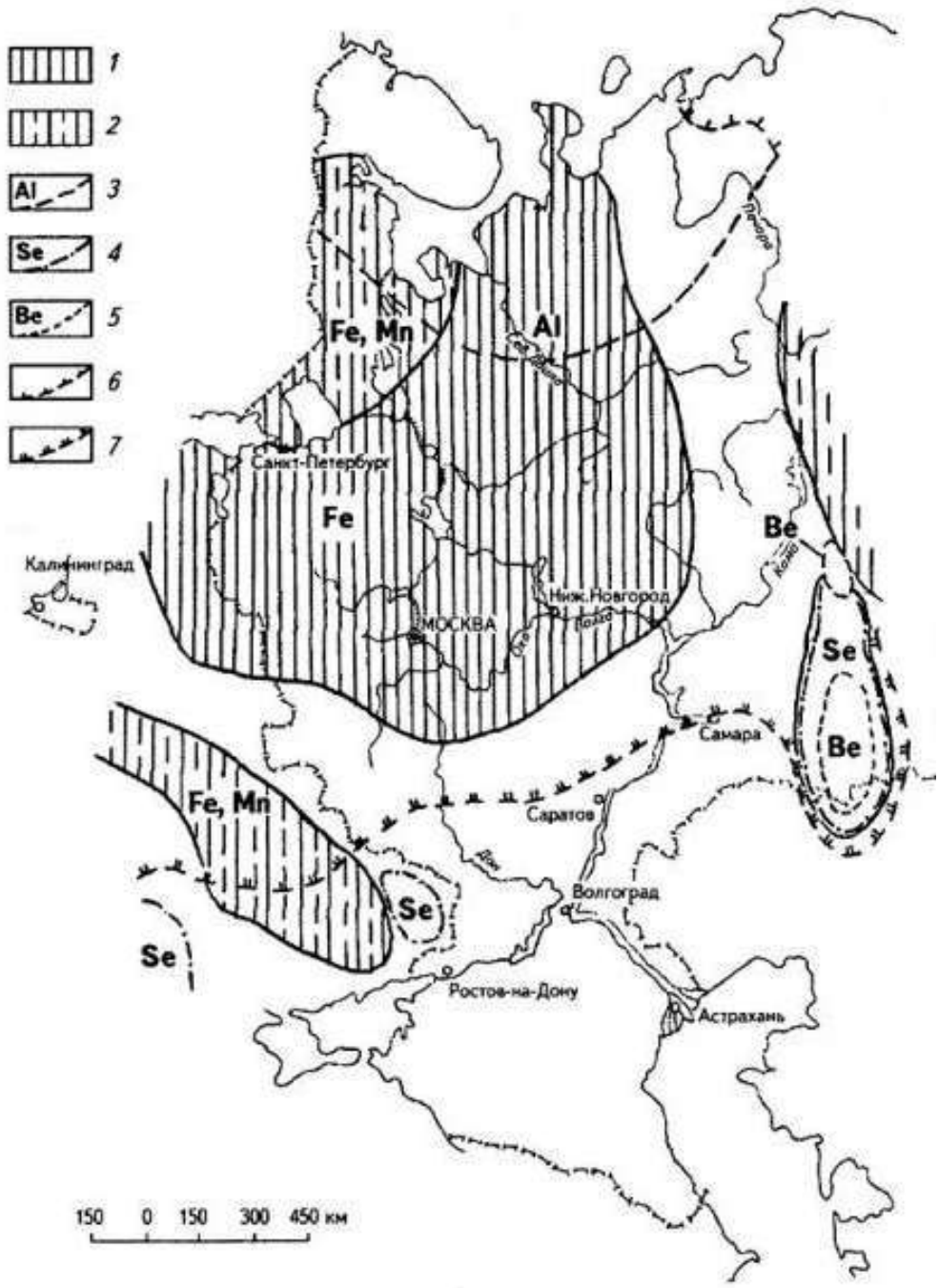


Рисунок 2 – Гидрогеохимические провинции подземных вод европейской части России (фрагмент карты из [274])

Обозначения: 1 – железо, 2 – железо и марганец, 3 – алюминий, 4 – селен, 5 – бериллий, 6 – область подземных вод криолитозоны с повышенным содержанием железа, 7 – граница гумидной зоны с повышенным содержанием железа

В более глубоких горизонтах, включая артезианские бассейны и их склоны, ниже зоны окислительной геохимической обстановки, широкое распространение имеют железосодержащие подземные воды. Так, в центральной части европейской территории

России сформирована Среднерусская гидрогеохимическая провинция железосодержащих подземных вод [274] (рисунок 2).

Гидрогеохимические провинции с повышенными содержаниями Fe, Mn, NH_4^+ формируются в пределах гидрогеологических массивов, сложенных преимущественно изверженными и метаморфическими породами. Типичными являются гидрогеологические массивы Карелии, Урала и др. Гидрогеохимическая провинция грунтовых железосодержащих подземных вод занимает почти всю гумидную зону России с максимальными проявлениями в Мещере, Карелии, Архангельской и других областях севера европейской части России. Встречаемость концентраций железа, превышающих ПДК, в водах этих регионов более 50% [102].

Повышенными концентрациями соединений азота, железа, марганца, органических веществ отличается четвертичные водоносные горизонты и комплексы Среднерусского артезианского бассейна (Московская, Тверская, Ярославская, Владимирская, Рязанская, Тульская, Калужская, Смоленская области). Важно отметить, что химический состав подземных вод зоны свободного водообмена (зоны, воды которой активно дренируются реками) по сравнению с другими глубокозалегающими подземными водами больше всего подвержен воздействиям, свойственным данной местности. Именно поэтому для общего химического состава вод зоны свободного обмена отмечается широтная зональность, связанная с изменениями климатических условий и степени расчлененности рельефа при движении с севера на юг [274].

Таким образом, формирование химического состава речных вод в пределах ЕЧР происходит за счет разнообразного комплекса геохимических факторов, процессов и явлений, что, в конечном счете, и обусловливает его достаточно выраженную региональную неоднородность. При этом формируются области распространения поверхностных вод (речные системы или их участки), в пределах которых обнаруживаются повышенные природные (фоновые) уровни содержания отдельных химических веществ. Выявление региональной неоднородности химического состава воды ЕЧР, безусловно, должны учитываться при изучении качества речных вод, экологического состояния водных объектов в условиях техногенного загрязнения природных вод.

1.2 Состояние изученности химического состава речных вод ЕЧР

Химический состав природных вод формируется под действием различных природных и антропогенных факторов и отражает региональные особенности водосборных территорий [134]. Распределение химических элементов в природных водах определяется типом природной системы (геохимической среды) и свойствами самих элементов и в целом подчиняется основным геохимическим закономерностям [97]. В распределение ионного состава речной воды на территории России наблюдается определенная закономерность. Существует общая тенденция к увеличению минерализации воды на большей части ЕЧР с севера на юг и с запада на восток. Это является естественным следствием воздействия общего комплекса физико-географических условий, влияющих на формирование химического состава вод рек, а именно, большая увлажненность на севере, преобладание менее минерализующих воду почв (тундровые, болотистые, лесные), обширность области вечной мерзлоты. В противоположность этому количество осадков к югу падает, сухость климата возрастает, подзолистые почвы сменяются черноземами и каштановыми почвами, а на юго-западе – солончаковыми почвами, сильно минерализующими воду [4].

Как было показано ранее, «географическая закономерность в распределении химического состава речной воды в ряде случаев нарушается для больших рек... Состав воды небольших рек лучше отражает климатические условия местности и, следовательно, более полно передает зональность воды по территории. Однако с уменьшением размера бассейна усиливается влияние местных азональных условий (состав почв и пород, гидрогеологические условия, рельеф) в результате чего может возникать мозаичность состава воды» [97, с. 84].

Неоднородность химического состава воды особенно заметна у рек, имеющих большую длину и протекающих по областям с различными условиями формирования состава воды [4]. Неоднородность химического состава речной воды наиболее сильно выражена по длине реки, в меньшей степени по ширине и редко наблюдается по глубинам. Причины неоднородности состава речных вод следующие: впадение притоков, различный тип питания, несинхронная смена вод разного происхождения в русле реки по её длине.

Таким образом, зональность химического состава вод проявляется в закономерном увеличении степени их минерализации и жесткости и уменьшении содержания органического вещества с севера на юг. Важным является также учет биогеохимических провинций, которые определяются зональностью химического состава почв, и соответственно напрямую влияют на химический состав речных вод. В то же время господство или сочетание определенных типов и подтипов ландшафтов дало возможность провести границы физико-географических единиц с достаточной степенью достоверности и точности.

В период бурного развития гидрохимии (70-80-е годы прошлого столетия) появилось много публикаций, касающихся региональным аспектам гидрохимии. Ряд статей в ежегодном издании «Гидрохимические материалы» были посвящены описанию гидрохимического режима рек Юга ЕТР, в частности р. Волга [36, 95, 130], р. Дон [29, 95, 263], р. Терек [32, 105], рр. Кубани и Кумы [114] и др. Основное внимание уделялось изучению закономерностей изменения содержания главных ионов и органических веществ в природных водах.

Целая серия статей была опубликована М.П. Смирновым и М.Н. Тарасовым, посвященных региональным особенностям распределения органических веществ в природных водах России. Рассмотрены закономерности содержания органических веществ в речных водах различных природных зон ([235]-[239]), составлены гидрохимические карты.

Авторами показано не только закономерное изменение гидрохимических показателей (минерализация воды, pH, цветность, окисляемость, содержание гумусовых веществ и др.) речных вод с севера на юг (зональность), но и внутри каждой зоны с запада на восток (долготная зональность). Так минерализация и pH воды рек ЕТР в зоне тундры ниже, чем для «азиатских рек». Тундровые воды европейской территории страны содержат меньшее количество окрашенных и легкоокисляемых соединений, нежели речные воды в зоне тундры Азиатской части побережья страны [237]. В зоне лесотундры валовое содержание органических веществ в реках европейской территории выше, чем в азиатских, однако по соотношению органических веществ к минеральным формам различия ослабляются [236].

Зона тайги занимает большую часть ЕЧР и рассматривается по подзонам северной, средней и южной тайги. В северной тайге европейской территории России

воды весьма маломинерализованы (52-100 мг/дм^3), в восточной части Русской равнины величины минерализации возрастают до малых (70-210 мг/дм^3). Количество валового органического вещества в речных водах северной тайги ЕЧР изменяется в узких пределах от 23 до 37 мг/дм^3 [236].

Речные воды средней тайги в пределах ЕЧР несколько различаются между собой: воды западной части территории более окрашены, отношение органических веществ к минеральным в несколько раз выше, чем в водах Восточно-Европейской равнины [235].

Рассматривая региональные особенности формирования химического состава природных вод нельзя не учитывать процессы миграции и концентрации различных элементов в окружающей среде. Основные положения учения о биогеохимических провинциях разработаны А.П. Виноградовым [30], а дальнейшее картографирование биогеохимических провинций выполнено В.В. Ковальским [90].

По мнению А.П. Виноградова существуют «области на поверхности Земли, различающиеся по содержанию (в их почвах, водах и т.п.) элементов (или соединений), с которыми связаны определенные биологические реакции со стороны местной флоры и фауны», которые он назвал «биогеохимические провинции» [30]. Также отмечалось, что эти области имеют «специфическое пространственное простирание» и характеризуются «недостаточностью или избыточностью того или иного элемента в среде – в почвах разного типа,… водах, растениях и т.д.» [30].

Дальнейшие исследования этого явления показало, что разнообразие химического состава различных сред (почв, пород, природных вод и растительности) способно выходить за границы фоновых характеристик (за границы зональных средних содержаний химических элементов в этих средах). Эти изменения могут происходить как в сторону выраженного недостатка важных элементов, например биогенных веществ (йода, фосфора и др.), так и в сторону избытка некоторых потенциальных токсикантов (ртуть, кадмий, мышьяк и др.) [30, 90].

Ковальский В.В. выделял естественные и техногенные биогеохимические провинции, формирующиеся в зонах интенсивного воздействия на окружающую среду промышленности, на территориях развитой сельскохозяйственной деятельности с интенсивным применением удобрений и т.п. [90].

В последние годы за счет загрязнения окружающей среды возникла резкая геохимическая неоднородность химического состава почв, вод в пределах

урбанизированных территорий и отмечается повышение уровня заболеваемости населения. В отдельных районах отмечается возрастание случаев острых и хронических отравлений населения за счет сельскохозяйственных работ [66].

Современные исследования неоднородности химического состава речных вод ЕЧР связаны преимущественно с работами сотрудников Гидрохимического института. Так в серии монографий «Реки России» [139-141] представлены пространственно-временные закономерности химического состава вод рек ЕЧР, в том числе Кольского Севера, Дона, Кубани, рек Приазовья.

В многолетнем аспекте (1980-2005 гг.) выявлены особенности трансформации гидрохимического режима и состояния речных экосистем Кольского Севера, а также установлены экологически допустимые уровни воздействия на экосистемы рек [139]. Детально изучен сток растворенных веществ, как один из главных факторов формирования химического состава воды на речном водосборе [140]. Авторами подчеркивается актуальность оценки химического стока для выявления влияния речных вод на прибрежные акватории северных морей и оценки антропогенной нагрузки на устьевые экосистемы рек Европейского Севера.

В совместной работе с сотрудниками региональных подразделений Росгидромета [148] исследована антропогенная трансформация гидролого-экологического состояния рек Республики Татарстан и выявлены региональные особенности формирования химического состава и степени загрязненности воды. Рассмотрены вопросы оценки химического стока и экологически допустимых уровней воздействия на экосистемы рек.

Результаты изучения пространственно-временной изменчивости гидролого-экологического состояния рек и качества воды в южных регионах ЕЧР представлены в завершающей пятой монографии серии «Реки России» [141]. На основе анализа многолетних данных (1980-2010 гг.) дана оценка изменчивости экологического состояния речных экосистем Приазовья и бассейна Нижнего Дона по гидрохимическим и гидробиологическим показателям, представлена динамика качества воды, притока растворенных химических веществ на устьевые участки рек и выполнена оценка уровня антропогенной нагрузки на устьевых экосистемы.

Данные исследования продолжены при изучении уровня антропогенной нагрузки на устьевые экосистемы крупных рек ЕЧР Волги и Дона в современных условиях антропогенного воздействия [142, 143, 194, 218, 221] и оценки антропогенной

трансформации химического состава и качества воды, состояния водных экосистем в бассейне реки Кубань [92, 146, 214].

Для степной зоны Юга России наибольшую важность представляют исследования, посвященные непосредственно изучению процессов формирования химического состава поверхностных вод и оценке качества воды в пределах техногенно нарушенных геосистем углепромышленных территорий. В большинстве работ по изучению техногенно преобразованной разновидности подземных вод Восточного Донбасса указывается, что основными факторами формирования агрессивных (преимущественно кислотных) шахтных вод являются состав углей (их повышенная зольность) и вмещающих пород, обогащенных сульфидными минералами, и условия отработки угольных пластов. В исследованиях, проведенных в 1960-х гг. Гидрохимическим институтом отмечается существенная роль шахтных вод в загрязнении поверхностных водотоков в Ростовской области [80, 132].

В 1970-80-х гг. выполнялись специальные наблюдения за состоянием шахтных вод в рамках мониторинга окружающей среды, проводились серьезные исследования формирования химического состава шахтных вод и его влияния на речную сеть с применением методов математической статистики и компьютерного моделирования [34]. В 1990-х гг. проведена реструктуризация угольной промышленности и большинство угольных шахт было закрыто преимущественно «мокрым способом». Это привело к ряду негативных последствий – дальнейшему изменению состава шахтных вод, усилению их влияния на поверхностные воды, проседанию земной поверхности над горными выработками и др. [35, 129].

В настоящее время, несмотря на значительное снижение добычи угля в Восточном Донбассе, вопрос о негативном влиянии шахтных вод на поверхностную гидросферу не теряет своей актуальности. Анализируется влияние объектов угольной отрасли и шахтных вод на природные поверхностные и подземные воды, исследуется распространение загрязнения речных вод [70, 72]. Проведены работы по районированию территории по степени гидроэкологического риска [71].

В последние несколько лет соискателем в соавторстве опубликована серия статей, посвященных важному направлению – оценке трансформации качества воды и состояния речных экосистем Европейской части России в условиях климатических изменений и антропогенного воздействия. В работах изложены результаты оценки

изменчивости качества речных вод и состояния речных экосистем в пределах крупных водосборных бассейнах рек ЕЧР, таких как Печора, Ока, Дон и Волга. Рассмотрены такие важные экологические проблемы, как многолетняя изменчивость загрязненности воды и состояния речных экосистем ЕЧР (на примере бассейнов рек Печора, Северная Двина, Ока, Кубань, Дон и Волга [17, 18, 53, 55, 56, 142, 143, 146, 156, 190, 194, 199, 201, 218, 221, 290-293, 309, 310], экологический риск и состояние гидробиоценозов рек ЕЧР в условиях техногенеза [151, 197, 199, 201, 210, 216, 308], содержание поллютантов в речных экосистемах [208, 212] и изменчивости химического состава речных вод уязвимых к антропогенному воздействию и климатическим изменениям водных экосистем европейской части арктической зоны ЕЧР [18, 152, 155, 215, 216].

На основе обобщения результатов многолетних исследований сотрудниками Гидрохимического института и Институт водных проблем РАН подготовлен «Атлас гидрохимического стока рек ЕЧР», в котором представлены разнообразные карты, характеризующие изменчивость стока различных химических веществ и качества речных вод [44, 56].

Выполнена оценка изменчивости состояния гидробиоценозов в условиях высокого загрязнения воды соединениями тяжелых металлов [155, 206] и в целом состояния речных экосистем ЕЧР в условиях экстремально высокого уровня загрязнения воды и показано [138, 145], что поступление в водные экосистемы химических соединений антропогенного происхождения приводит к усилению процессов экологического регресса сообществ водных организмов. Рассмотрены вопросы влияния антропогенных факторов на водные экосистемы крупных рек России, транспорт загрязняющих веществ в их устья и возможные последствия антропогенной трансформации речных экосистем. Показана важность биологической составляющей в оценке качества воды и состояния водных экосистем. В основу экологического нормирования химического загрязнения в водных экосистемах предложен методологический подход оценки экологически допустимых уровней воздействия [152, 308].

В последних работах особое внимание уделено выявлению тенденций изменчивости (трендов) химического состава речных вод ЕЧР в условиях современного антропогенного воздействия и климатических изменений [214, 215, 217, 292]. Тренды имеют разнонаправленный характер и обусловлены в одних случаях климатическими

изменениями – для главных ионов и биогенных веществ, в других – антропогенным воздействием на водосборах – для соединений металлов.

Результаты многолетних исследований химического состава и качества воды рек степной зоны ЕЧР представлены в работах сотрудников Института наук о Земле ЮФУ [24, 68, 69-77, 222], рассмотрена проблема вторичного загрязнения речных вод при нарушении равновесия в системе «вода – донные отложения» [67, 77].

В обобщающей работе Е.П. Янина с соавторами проанализированы не только различные геологические, ландшафтные, гидрогеологические и другие факторы формирования неоднородности химического состава поверхностных вод всей территории России и европейской части особенно, но и выделены гидрохимические показатели качества воды, для которых нормативы ПДК для химических веществ в воде водных объектов рыбохозяйственного значения требуют пересмотра с точки зрения учета региональных особенностей [274].

Таким образом, в современных условиях антропогенного воздействия на природные речные экосистемы происходит трансформация химического состава воды и превышение фоновых характеристик, усиливаются внутри- и межгодовые колебания содержания химических элементов воде, изменяются закономерности процессов формирования химического состава поверхностных вод. Такая неоднородность в формировании химического состава и качества речных вод на ЕЧР усиливается за счет антропогенной нагрузки и других внешних факторов и может быть прослежена по изменчивости концентраций химических веществ.

1.3 Характеристика объектов исследования и зональное распределение участков рек в пределах ЕЧР

Информационной основой проведения данного исследования по выявлению изменчивости химического состава речных вод ЕЧР и оценке состояния речных экосистем являются многолетние данные государственного мониторинга состояния и загрязнения поверхностных вод суши, осуществляемого сетевыми подразделениями Росгидромета [180]. Для объективной оценки пространственно-временной изменчивости химического состава воды и состояния речных экосистем использована многолетняя гидрохимическая и гидробиологическая информация по состоянию водных объектов на

территории Европейской части России. «Уникальность базы данных Росгидромета обуславливается едиными методами отбора и анализа проб воды, широким охватом режимными наблюдениями водных объектов, оптимизированными внутри- и межгодовыми сроками отбора проб, широким набором перечня показателей, определяемых на сети» при проведении наблюдений [150, с. 515].

Изучение изменчивости химического состава воды рек ЕЧР выполнено на основе принципов гидрохимической зональности, неоднородности химического состава воды больших рек, протекающих по областям с различными условиями формирования состава воды, а также с учетом наличия биогеохимических провинций, которые определяются климатической, фитогеографической и геохимической зональностью биосферы в целом, разнообразием ландшафтов. В то же время господство или сочетание определенных типов и подтипов ландшафтов дало возможность провести границы физико-географических единиц с достаточной степенью достоверности и точности.

Согласно Н.А. Гвоздецкому, система таксономических единиц (физико-географических единиц) имеет вид [261]: физико-географическая страна → физико-географическая зона (область) или горная область → физико-географическая провинция → физико-географическая подпровинция → физико-географический округ → физико-географический район → физико-географический подрайон.

В нашей работе выбрана одна из ступеней этой таксономической лестницы – физико-географическая провинция. Физико-географическая провинция (ФГП) – это часть зоны, отличающаяся от соседних по основным чертам геологического строения и геоморфологических особенностей, характеру неотектонических движений, степенью выраженности свойственного физико-географической стране в целом и соответствующей зоне климатического режима [261].

Использование ФГП как природно-территориальной единицы позволяет нам дифференцировать речные экосистемы ЕЧР по особенностям зонального типа ландшафтов. Исследуемые нами водные объекты (речные системы, участки рек) располагаются в пределах 30 провинций расположенных в различных природных зонах Русской равнины [38, 261]. Участки рек в горных районах практически не охвачены регулярными наблюдениями и в работы не включены.

В зоны тундры и лесотундры ЕЧР вошли такие ФГП, как Северо-Кольская и Малоземельско-Большеземельская; в зону тайги – Западно-Кольская, Восточно-Кольская, Карельская, Онежско-Двинская, Пинего-Мезенская, Мезенско-Двинская, Тиманская, Печорская, Ветлужско-Унжинская и Вятско-Камская; в зону смешанных и широколиственных лесов – Прибалтийская, Верхне-Волжская, Смоленско-Московская, Мещерская, Приокская, Северо-Приволжская и Днепровско-Деснинская; в зону лесостепей – Среднерусская, Окско-Донская, Приволжская, Кинельско-Камская и Бугульминско-Белебеевская; в зону степей – Общий Сырт, Самаро-Иргизская, Хопер-Медведицкая, Донецко-Донская, Нижнедонская, Северо-Кавказская и Западно-Предкавказская провинции (условно объединены в одну ФГП).

Границы физико-географических стран, как и границы широтных зон, приведены на карте физико-географического районирования СССР Геопортала Московского государственного университета им. Ломоносова [38].

Все многообразие почвенного покрова и некоторых его характеристик указанных ФГП на территории ЕЧР представлены в Приложении А. Можно заключить, что ФГП одной физико-географической зоны ЕЧР (широтной зоны) имеют одинаковые геолого-морфологические и климатические особенности, но различаются по характеристике почвенного покрова (тип/подтип почв, дренаж и кислотность почвы). Это обусловливает региональные различия в формировании химического состава речных вод в пределах различных ФГП.

Так, если в зонах тундры и лесотундры ЕЧР преобладают подбуры (тундровые и таёжные) и подзолы (простые и глеевые), то при переходе к таёжной зоне разнообразие почвенного покрова расширяется и к этим же типам почв добавляются новые разновидности подзолистых почв (дерново-подзолистые и дерново-подзолистые иллювиально-железистые), торфяные болотные почвы. В зоне смешанных и широколиственных лесов ЕЧР доминирующими типами почв являются разные разновидности дерново-подзолистых и серых лесных почв [261]. В отдельных ФГП данной зоны встречаются черноземные почвы (таблица Приложения А).

Далее при движении в южном направлении в лесостепной и степной зон ЕЧР преобладают чернозёмы типичные, выщелоченные, обычные и южные, а также разновидности черноземных почв (лугово-черноземные и чернозёмы на обломочных материнских породах). Изредка почвенный покров представлен серыми лесными и

каштановыми почвами (таблица Приложения А). Кислотность почвенного покрова постепенно смещается в сторону слабощелочной реакции при движении с севера на юг. Диапазон изменения pH типичных почв ФГП тундровой, лесотундровой и таёжной зон составляет 4,3-6,9; зоны смешанных и широколиственных лесов – 4,3-6,5; лесостепной зоны – 5,3-7,4; степной зоны – 5,3-8,2.

Таким образом, указанные выше физико-географические провинции учитывают всю совокупность природных условий территорий, зональные и азональные факторы формирования речных вод, при этом с севера на юг прослеживается четкая зональность в изменчивости типа почв и характеристик почвенного покрова ФГП различных природных зон ЕЧР.

Для исследования выбраны более 200 крупных, средних и малых водотоков ЕЧР или их участков, находящихся в различных физико-географических провинциях и различных природных зонах. Количественное распределение участков рек, пунктов и створов наблюдений (массив объектов исследования) по ФГП на территории ЕЧР представлено в таблице 2.

Карта-схема размещения пунктов наблюдений сети Росгидромета на исследуемых реках ЕЧР приведена на рисунке 3. В работе изучены в зонах тундры и лесотундры 9 участков рек, тайги – 93 участка, в зоне смешанных и широколиственных лесов – 82 участка и в зонах лесостепей и степей – 73 участка рек (всего 257 речных участков).

В ходе работы использованы материалы исследований, характеризующие химический состав воды выбранных речных систем или их участков в пределах ЕЧР, сгруппированных с учетом разнообразия природных условий формирования речных вод. Период исследований составлял более, чем 30-летний интервал с 1985 по 2017 гг.

Химический состав и качество воды оценивались по таким гидрохимическим показателям, как главные ионы (хлориды, сульфаты, гидрокарбонаты, ионы кальция, ионы магния), биогенные вещества (азот аммонийный и азот нитратный), растворенный в воде кислорода, легко- и труднookисляемые органические вещества (по $БПК_5$ и ХПК), нефтепродукты, растворенные формы некоторых тяжелых металлов (железо, медь, никель, цинк и марганец).

Таблица 2 – Распределение речных участков в различных физико-географических провинциях европейской части России

№ *	Физико-географическая провинция	Количество		
		рек	пунктов	створов
Зоны тундры и лесотундры				
I	Северо-Кольская	3	3	3
II	Малоземельско-Большеземельская	5	6	6
Зона тайги				
III	Западно-Кольская	14	15	15
IV	Восточно-Кольская	1	1	1
V	Карельская	9	9	9
VI	Онежско-Двинская	9	9	9
VII	Пинего-Мезенская	5	6	6
VIII	Мезенско-Двинская	15	17	17
IX	Тиманская	6	6	6
X	Печорская	6	7	7
XI	Ветлужско-Унжинская	9	10	10
XII	Вятско-Камская	10	13	13
Зона смешанных и широколиственных лесов				
XIII	Прибалтийская	15	18	18
XIV	Верхне-Волжская	14	15	15
XV	Смоленско-Московская	15	16	16
XVI	Мещерская	8	13	13
XVII	Приокская	6	9	9
XVIII	Северо-Приволжская	6	7	7
XIX	Днепровско-Деснинская	4	4	4
Зона лесостепей				
XX	Среднерусская	15	18	18
XXI	Окско-Донская	11	14	14
XXII	Приволжская	8	9	9
XXIII	Кинельско-Камская	4	4	4
XXIV	Бугульминско-Белебеевская	4	4	4
Зона степей				
XXV	Общий Сырт	5	5	5
XXVI	Самаро-Иргизская	3	3	3
XXVII	Хопер-Медведицкая	3	3	3
XXVIII	Донецко-Донская	4	5	5
XXIX	Нижнедонская	2	6	6
XXX	Северо-Кавказская и Западно-Предкавказская	1	4	4
Примечание: * - сквозная нумерация провинций, принятая в данном исследовании				



Рисунок 3 – Картосхема размещения пунктов наблюдений на исследуемых реках ЕЧР (составлено автором по [44])

ГЛАВА 2 МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ И СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

2.1 Проблемы водопользования и управления качеством воды

В условиях нарастающей проблемы дефицита водных ресурсов и недостаточного количества воды хорошего качества во многих регионах мира и в отдельных частях России особенно актуальным становятся исследования, направленные на изучение динамики качества воды и тенденций изменения уровня загрязненности воды рек.

При решении проблемы качества воды в глобальном масштабе необходимо учитывать экологический, экономический, социальный и политический аспекты нарастающего глобального водного кризиса [51, 52]. Потребление воды в мире продолжает быстро расти, усиливается неравномерность водообеспеченности водными ресурсами при возрастающей численности населения отдельных стран. Эти же проблемы обусловлены региональной неравномерностью распределения водных ресурсов между странами и между регионами России.

«Дефицит пресной воды становится фактором, сдерживающим экономический рост многих стран, а, следовательно, причиной экономической, социальной, а затем и политической нестабильностей, которые в современном мире не удается удержать в границах одной страны. Это определяет глобальный характер проблемы водного дефицита» [52, с. 6].

Для решения проблем рационального водопользования необходимы отвечающие современному уровню науки методы управления водными ресурсами. Эти методы должны обеспечить прогнозы изменения доступных водных ресурсов, качества воды водных объектов, являющихся источниками питьевого водоснабжения и т.п. Практическое решение вопросов рационального водопользования и управления качеством воды должно основываться на едином междисциплинарном комплексе, охватывающем принципы и подходы из разных областей: геоэкологии, гидрохимии, гидрологии, социально-экономической географии и многих других.

Сохранение и рациональное использование водных ресурсов, улучшение качества воды и состояния водных экосистем является составляющей общей Концепции устойчивого развития, которая уже на протяжении многих десятилетий реализуется мно-

гими странами и принята в России. В мире существует мало регионов, не затронутых проблемами потери потенциальных источников водоснабжения, ухудшения качества воды и загрязнения поверхностных и подземных источников.

Многие проблемы водопользования связаны не только с глобальной проблемой загрязнения водных объектов в результата хозяйственной деятельности, но и могут быть обусловлены недостаточной степенью очистки бытовых сточных вод, «слабого контроля за сбросом промышленных сточных вод, утраты и разрушения водосборных площадей, нерационального размещения промышленных предприятий, обезлесения, бесконтрольной залежной системы земледелия и нерациональных методов ведения сельского хозяйства. В различных обстоятельствах на водные экосистемы влияют также проекты освоения водных ресурсов в целях развития сельского хозяйства, такие, как плотины, схемы переброски речных стоков, водохозяйственные сооружения и ирригационные проекты. Эрозия, заиление, обезлесение и опустынивание приводят к возрастанию деградации земель, а создание водохранилищ в некоторых случаях отрицательно сказывается на экосистемах. Многие из этих проблем возникают вследствие экологически разрушительных моделей развития и отсутствия понимания проблем общественностью и соответствующих знаний об охране ресурсов поверхностных и подземных вод» [160, www.un.org/ru].

Как отмечают авторы статьи [25, с.7] «современное состояние качества поверхностных вод … за 2003-2017 гг. остается стабильным, однако характеризуется рядом проблем, в совокупности ставящих под сомнение эффективность действующей системы управления водными ресурсами в Российской Федерации. Следствием недостатков действующей системы управления на протяжении длительного периода времени являются высокие объемы поступлений загрязняющих веществ в составе сбросов сточных вод и диффузного стока с водосборов, низкое качество поверхностных и подземных вод, неудовлетворительное качество питьевой воды в системах водоснабжения населенных пунктов, загрязнение водоохранных зон и др.»

При этом как бы ни совершенствовалась методология оценки качества поверхностных вод и система природоохранных нормативов «значимой проблемой является воздействия на водные объекты диффузного стока с сельскохозяйственных и селитебных территорий, площадей размещения коммунальных и промышленных отходов. До сих

пор отсутствует законодательное и нормативно-правовое обоснование необходимости контроля и охраны водных объектов от диффузного загрязнения» [25, с. 8].

При оценке воздействия на водные объекты и исследовании качества воды крайне необходимы данные по составу и объемам сбросов. Система мониторинга и водохозяйственная статистика слабо учитывают сбросы загрязняющих веществ из точечных (контролируемых) источников. Система статистического учёта сбросов предприятиями загрязняющих веществ (в виде формы учёта 2-ТП (водхоз)) слабо развита и мало достоверна. «За редким исключением информация об объёмах забора воды, сброса сточных вод и концентрациях в них загрязняющих веществ заносится в эти формы предприятиями не на основе реальных измерений …, а в результате элементарных вычислений» [51, с. 1252].

«Научно-методическая база управления качеством вод, ориентирующаяся на показатели ПДК и интегральные индексы, устарела. В ней не уделяется должного внимания физико-химическим и гидробиологическим процессам формирования качества, взаимодействию компонентов водного объекта – водной массы, гидробиоты, донных отложений, прибрежной зоны. Кроме того, устарела методическая и приборная база мониторинга качества вод. Не проводится мониторинг органических ксенобиотиков – чужеродных для живых организмов химических веществ, не входящих в естественный биотический круговорот... Сегодня насчитываются сотни тысяч видов ксенобиотиков, но методическая база оценки вредного влияния чужеродных организмов на экологическое состояние водных объектов и человека отсутствует» [51, с. 1253].

«Для оценки качества поверхностных вод в России используются единые для всей страны предельно-допустимые концентрации (ПДК) химических веществ, установленные для водоемов и водотоков хозяйственно-бытового и рыбохозяйственного назначения и которые не пересматривались на протяжении десятилетий (некоторые с 70-х годов). Для интегральной оценки качества воды применяется метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям, разработанный сотрудниками Гидрохимического института и внедренный в систему мониторинга. Этот метод позволяет получить обоснованную статистическую информацию об уровне загрязненности поверхностных вод в стране на основе единого методологического подхода» [207, с. 153]. Основным показателем для характеристики качества воды является удельный комбинаторный индекс загрязнения воды (УКИЗВ), по значением

которого присваивается класс качества воды от «условно чистой» (1-й класс) до «экстремально грязной» (5-й класс качества). При оценке качества воды водного объекта также учитывают критические показатели загрязнённости (КПЗ) воды, которые переводят класс качества в худший [183]. Этот методологический подход хорошо характеризует загрязненность водного объекта по комплексу показателей, но не может использоваться для оценки пригодности воды для конкретного вида водопользования.

Как уже отмечалось ранее «одной из приоритетных проблем в области охраны окружающей среды и устойчивого развития территорий является адекватная оценка состояния водных ресурсов, изменчивости качества воды и экологического состояния водных экосистем с учетом особенностей их функционирования, а также выявление возможных последствий неблагоприятного внешнего воздействия. Качество воды любого региона имеет определяющее значение для устойчивого экологического и экономического развития территории» [207, с. 152].

В рамках Концепции устойчивого развития поставлена цель № 6, которая регламентирует «Обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех». «Многие страны для достижения данной цели планируют к 2030 году «повысить качество воды посредством уменьшения загрязнения, ликвидации сброса отходов и сведения к минимуму выбросов опасных химических веществ и материалов, сокращения вдвое доли неочищенных сточных вод и значительного увеличения масштабов рециркуляции и безопасного повторного использования сточных вод во всем мире» и увеличения «доли природных водоемов с чистой водой» (индикатор 6.3.2). В России отчетность по данному индикатору устойчивого развития пока не закреплена ни за одним ведомством. В то же время вопрос сопоставимости национальных оценок качества воды с общемировыми всегда остается актуальным» [207, с. 152].

В сфере водного хозяйства Российской Федерации внедрены принципы интегрированного управления водными ресурсами (правовые, социальные, политические, экономические, технологические), действует Водный кодекс и целый комплекс нормативно-законодательных актов. Разработана концепция бассейнового управления водными ресурсами, которая предусматривает [207, 276]:

1) разработку и реализацию планов управления водными бассейнами;

2) установление целевых показателей качества воды, т.е. разных требований к качеству воды в зависимости от разных целей водопользования (питьевое и хозяйственно-

бытовое водоснабжение, промышленность, сельское хозяйство, гидроэнергетика, рыбное хозяйство и др.);

3) установление целевых показателей для каждого водного бассейна.

При этом конечным результатом всех вышеперечисленных мероприятий является улучшение качества воды и достижение характерного для исходных природных условий фонового уровня.

Для повышения эффективности использования водных ресурсов и экологически обоснованного управления качеством воды, в первую очередь, необходимо добиться снижения загрязнения водных объектов. Это может быть достигнуто «при реализации системы мер, направленных на восстановление качества воды в водоемах, испытавших сверхнормативное антропогенное воздействие. Мероприятия включают: улучшение систем очистки сточных вод; наведение порядка на водосборных территориях; строгое соблюдение установленного законодательством режима хозяйственной деятельности и ограничений природопользования в пределах водоохранных зон и прибрежных защитных полос; проведение специальных реабилитационных мероприятий, ликвидация негативных последствий гидромелиорации и пр.» [174, www.fsdejournal.ru].

Кроме этого необходимо осуществлять «переход на принцип нормирования в соответствии с наилучшими доступными технологиями (НДТ) по отраслям промышленности и ЖКХ. В 2019 году должен быть осуществлен переход к системе регламентации антропогенных воздействий на водные объекты, основанный на комплексных экологических разрешениях (КЭР)» [25, с. 8]. На данный момент нет четкой нормативно-правовой основы для разработки технологических нормативов и переводу системы регулирования на основе НДТ.

«В России при управлении водными ресурсами используются разработанные в последние годы Схемы комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО). Одним из ключевых моментов СКИОВО является установление целевых показателей качества вод на основе фоновых характеристик для отдельных водных объектов и водохозяйственных участков в бассейнах рек (фоновые значения концентраций, региональный фон и т.п.). Основная проблема заключается в трудности выбора фоновых объектов и установлении фоновых значений концентраций химических веществ для разработки целевых показателей качества воды. Иногда это связано с тем, что многие водные объекты отдельных регионов России испытывают интенсивную антропогенную

нагрузку вследствие чего проблематично выделение фоновых участков рек, и, соответственно, определение регионального фона». В других случаях нет регулярных наблюдений за качеством воды водных объектов на «фоновых территориях», в пределах охраняемых территорий и т.п. «Также отсутствует единая унифицированная методика расчета природного фонового содержания химических веществ в поверхностных водах» [207, с. 153].

При разработке для всех речных бассейнов СКИОВО предполагалось, что они должны были обеспечить научно-обоснованную оценку экологического состояния и выявление ключевых проблем речного бассейна, разработку целевых показателей качества воды и водохозяйственных балансов в водных объектах речного бассейна (в том числе балансы загрязняющих веществ), расчеты лимитов и квот на забор воды из водных объектов и сброс сточных вод, позволяющие разработать перечень «мероприятий по достижению целевого состояния речного бассейна», в том числе и по качеству водных ресурсов (водного объекта). Однако, как отмечают специалисты в области управления водными ресурсами «СКИОВО не являются нормативным документом, а используемые до сих пор при регулировании качества вод нормативно-методические акты игнорируют разработанные в СКИОВО целевые показатели качества вод, лимиты и квоты на забор воды из водных объектов и сброс сточных вод… В итоге большая работа оказалась невостребованной» [25, с. 10].

При реализации бассейнового принципа в управлении качеством воды важное место занимает вопрос оценки антропогенной нагрузки на водосборном бассейне. В целом антропогенная нагрузка на определенной территории складывается из трех составляющих: сельскохозяйственная, промышленная и транспортная нагрузка. При этом для интегральной оценки антропогенной нагрузки на ландшафты учитывается размещение населения и его плотность, что составляет демографическую нагрузку в структуре антропогенного воздействия на территорию [271].

В нашей стране для оценки антропогенной нагрузки на водные объекты используются различные принципы и подходы. Одним из концептуальных решений проблемы управления антропогенным воздействием является методология экологического нормирования, которая основывается на зависимости антропогенной нагрузки на водные объекты и откликом экосистемы на данное воздействие [125]. Регламентация антропогенной нагрузки биогенными веществами на водные объекты в таёжной природно-

климатической зоне ранее была проведена на основе региональной устойчивости водных экосистем к эвтрофированию, то есть с учетом общелимнологических особенностей водных объектов [78].

В середине 1990-х гг. сотрудниками МГУ разработана методика оценки антропогенной нагрузки на малые реки, позволяющая определить совокупную нагрузку на бассейн реки. С использованием балльного метода оценивается интенсивность возможного поступления загрязняющих веществ от точечных и рассредоточенных источников [3, 269].

Наиболее распространенный подход к оценке антропогенной нагрузки на водный объект связан с расчетом нагрузки сточными водами. При этом возможно определение нагрузки не только по объему сбрасываемых в водоток сточных вод, но и по массе загрязняющих веществ, поступающих со стоками в водный объект [97, 232, 268]. Целый ряд работ и исследований связан с разработкой методики оценки совокупной антропогенной нагрузки на водосборах с учетом как прямого воздействия на водные объекты, так и косвенной нагрузки на водосборные территории. Основу этого подхода составляет бассейновый принцип, а оценка экологического состояния водного объекта и нагрузки проводится исходя из ситуации на территории бассейна в целом [219, 227, 228, 271, 294].

За рубежом при оценке уровня антропогенной нагрузки достаточно часто оперируют термином «водный стресс», который и характеризует степень воздействия на водный объект. Уровень водного стресса (нагрузки), то есть забор пресной воды в процентном соотношении к ее имеющимся ресурсам, является одним из важнейших показателей для реализации цели устойчивого развития 6 (ЦУР 6: Обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех) [296].

Во многих зарубежных исследованиях проводится оценка антропогенной нагрузки по стоку биогенных веществ [299, 315]. Применяется концепция «серого водного следа» (GWF – Grey water footprints) для количественной оценки нагрузки по «антропогенному фосфору» (или азоту) на водные ресурсы. Рассчитывается показатель GWF как количество пресной воды, необходимое для ассимиляции («разбавления») биогенной нагрузки с учетом естественного фона и максимально допустимых концентраций [314]. Проведена оценка глобальной антропогенной нагрузки фосфором (P) на пресные воды [303] и связанного с ней показателя GWF за период 2002–2010 гг. в речных бассейнах

разных стран. Ранее выполнены аналогичные исследования по оценке глобальной нагрузки азотом на водные системы (от диффузных и точечных источников) [304].

Таким образом, оценка антропогенной нагрузки на водные объекты представляет собой достаточно сложную задачу в силу комплексности антропогенного воздействия, глобальных климатических изменений, специфичности региональных природных факторов формирования химического состава воды и различных геоэкологических явлений [53, 58, 156, 211]. Большинство подходов к оценке антропогенной нагрузки на водотоки в России и за рубежом связаны с анализом условий водопользования и, в первую очередь, с учетом влияния объемов сброса и водопотребления, сравнение объемов сброса сточных вод по отношению к величине водности объекта. С экологической точки зрения ученые пытаются оценить способность водного объекта к самоочищению и способность экосистемы «справиться» с поступающей массой загрязняющих веществ.

Как известно, поступление загрязняющих веществ в водные объекты приводит не только к ухудшению качества воды, но и формирует экологический риск развития негативных процессов, вызываемых загрязнением (антропогенное эвтрофирование, засоление, закисление, токсификация, экологический регресс, деградация биоты, снижение видового разнообразия и др.). В системе российского экологического законодательства и рационального природопользования не только не разработана система выявления и оценки экологического риска, но и не используются данные категории в системе управления качеством воды. В настоящее время в России слабо реализован Риск-ориентированный подход в регулировании качества воды водных объектов, который достаточно широко применяется в развитых странах. «Риск-ориентированный подход к регулированию качества вод … должен быть реализован по следующим направлениям:

– система требований к выдаче разрешений на осуществление хозяйственной деятельности для объектов негативного воздействия;

– система контрольно-надзорной деятельности природоохранных органов исполнительных власти при планировании и осуществлении проверок;

– система регулирования рынка производителей и экспортеров химических веществ» [25, с. 12].

Таким образом, основными проблемами в сфере водного хозяйства и системы управления качеством вод являются [25, 51, 246]:

- загрязнение окружающей среды в целом и водосборов рек в частности (в том числе слабо контролируемое диффузное загрязнение водных объектов);

- несовершенство системы управления водным хозяйством РФ (практически не реализованным оказались СКИОВО);

- слабое финансовое обеспечение системы управления водным хозяйством;

- «оторванность его экономического механизма от реальных потребностей управления водопользованием»;

- несовершенство законодательной базы, отсутствуют нормативно-методические документы по отдельным вопросам и акты нормативно-правового регулирования;

- слабое или устаревшее научно-методическое обеспечение системы управления качества воды (отсутствие современных методик, актуальных нормативов, региональных нормативов и т.п.).

Стратегические проблемы водопользования и управления качеством воды должны решаться на основе многолетнего российского и зарубежного опыта управления водными ресурсами, с учетом социально-экономического аспекта водопользования, принципов экологической безопасности, интегрированного подхода к трансграничным водным объектам, научно-обоснованных подходов к нормированию и охране водных объектов.

2.2 Методология оценки качества воды и состояния водных объектов

Важнейшей методологической задачей региональной гидрохимии и гидроэкологии является разработка методики, позволяющей оценить изменчивость состояния речных экосистем. Поскольку состояние любой водной экосистемы есть функция многих параметров (времени, температуры, концентрации веществ, pH, E_h и др.), оценка его крайне затруднительна. Можно с бóльшей уверенностью говорить только об изменчивости состояния, а не о состоянии водной экосистемы в целом. Кроме того, понятия качество воды и состояние водного объекта настолько тесно связаны, что иногда трудно их разделить – качество воды определяется состоянием экосистемы или наоборот. Поэтому оценка качества воды и состояния водных экосистем в целом должна быть комплексной [154, 193].

В законе «Об охране окружающей среды», отмечено, что критерии, используемые для оценки изменчивости качества окружающей среды и состояния в условиях антропогенного воздействия, должны быть направлены на «…сохранение естественных экологических систем и генетического фонда биоценозов…». При этом должны учитываться природные особенности региона и назначение водных объектов. Поэтому разработка и совершенствование методики оценки изменчивости состояния водных экосистем является одной из приоритетных задач [154].

Трудности, возникающие при разработке такой методики для речных экосистем, обусловлены рядом причин. Во-первых, главной особенностью речных экосистем является высокая активность водообмена – русловые речные воды сменяются в среднем каждые 11 дней, что определяет их быструю возобновляемость [134]. Химический состав рек также в значительной степени зависит от горных пород, с которыми контактируют водотоки, климатических и погодных условий, взаимодействия воды с атмосферой и интенсивного воздействия на воду растений и животных.

Во-вторых, реки являются динамическим компонентом гидросферы и в своем течении неоднородны по компонентному составу, а следовательно, и по состоянию водной среды. «Неоднородность химического состава речной воды наиболее сильно выражена по длине реки, в меньшей степени – по ширине и глубине. Факторы, обусловливающие неоднородность состава речных вод, следующие: впадение притоков, поступление грунтовых вод, неодновременная смена вод разного происхождения в русле реки по ее длине. Наряду с этим такие факторы, как турбулентность течения и русловое регулирование, сглаживают неоднородность химического состава речных вод» [134, с. 209]. Очевидно, что неоднородность состава воды по длине водотока хорошо выражена для рек, протекающих через различные природные зоны (рр. Обь, Лена, Енисей и др.).

В-третьих, дискретный характер гидрологической и гидрохимической информации, получаемой нами в ходе режимных наблюдений, ограничивает возможность оценки внутригодовой изменчивости гидроэкологического состояния речных экосистем. Особенно это явно отражается в годы с различными гидрометеорологическими условиями, а также в мало- или многоводные периоды [193].

Имеется и еще одна очень важная причина – непрерывность происходящих в экосистемах изменений и многообразие внутриводоемных процессов. Непрерывность объясняется эволюционным характером развития водных экосистем, постоянными их изме-

нениями, которые происходят под действием сезонных и суточных циклов, протекающих в речных экосистемах за счет колебания параметров среды. Многообразие же внутриводоемных процессов обусловлено различными физическими, физико-химическими, химико-биологическими и другими процессами взаимодействия всех компонентов водной среды, без учета которых нельзя описать и оценить состояние экосистем [135, 136, 157].

Таким образом, решение данной задачи осложняется свойственной всем речным экосистемам высокой пространственной, внутри- и межгодовой изменчивостью гидрологических, гидрохимических и гидробиологических характеристик их состояния.

Помимо этого, в современных условиях антропогенного воздействия необходимо выявить и оценить последствия антропогенного воздействия на речные экосистемы. При этом весьма трудно выделить и количественно оценить нарушения природных структур и особенности их функционирования в условиях внешнего воздействия. Для выявления таких изменений в речных экосистемах необходимо определить их региональные физико-географические особенности формирования и функционирования; провести сравнительную комплексную оценку структурной организации сообществ водных организмов и гидрохимических особенностей среды их обитания для выявления «эффекта воздействия» при изменении внешних условий; оценить направленность внутри- и межгодовых изменений в развитии сообществ водных организмов и выбрать наиболее информативные гидрохимические и гидробиологические показатели изменчивости состояния речных экосистем и определить возможные границы их изменчивости [152, 154].

Нельзя не отметить, что речные экосистемы России функционируют в различных природно-климатических условиях и их состояние во многом зависит от региональных (фоновых) геохимических, климатических и других характеристик конкретного региона. Поэтому возросла необходимость учета их природного регионального гидрохимического фона и выделения региональных критериев оценки состояния водных экосистем. В качестве региональных критериев оценки состояния речных экосистем нами предлагается принимать верхние границы модальных интервалов значений информативных гидрохимических показателей, рассчитанных для экологически благополучных экосистем (по гидробиологическим показателям) [153, 169].

В широком смысле, экологические исследования речных экосистем должны включать в себя не только измерение, оценку и прогноз изменений основных характери-

стик абиотической составляющей экосистемы, но и ответной реакции сообществ водных организмов на эти изменения [204]. Именно выявление различных региональных реакций организмов и откликов сообществ на факторы среды и внешнее воздействие позволят выявить закономерности изменения экологического состояния речных экосистем.

2.2.1 Подходы к оценке качества воды и состояния водных объектов, используемые за рубежом

Особенно полно вопрос классификаций качества вод, используемых за рубежом, рассмотрен в работах В.А. Кимстача «Классификация качества поверхностных вод в странах Европейского экономического сообщества» [87] и А.М. Никанорова «Научные основы мониторинга качества вод» [135]. На всех классификациях подробно останавливаться нецелесообразно. Рассмотрим основные общие черты методик.

Все разработанные в зарубежных странах классификационные схемы базируются на применении физических, химических и биологических методов, однако существенно различаются по степени сложности, совершенности, применимости и используемым подходам. Большая часть используемых классификационных схем европейских стран (Бельгия, Нидерланды и др.) обладают некоторыми общими чертами [87, 135]: включают три основных параметра, характеризующих загрязнение: содержание растворенного кислорода, биохимическое потребление кислорода, содержание аммонийного азота; многие биологические схемы представляют собой модификации индекса Трента; для картирования качества вод используются цветовые коды (цветовое обозначение классов качества воды).

С позиции экосистемного подхода оценку качества воды рекомендуют проводить с включением комплекса показателей состояния абиотической и биотической компоненты. Наиболее удачным в этом плане является принятый в ФРГ классификатор, включающий такие показатели, как органическая нагрузка, сапробность (зона и индекс), биохимическое потребление кислорода ($БПК_5$), минимальное значение растворенного кислорода и азот аммонийный (таблица 3) [87].

Таблица 3 – Классификатор качества вод принятый в ФРГ [87]

Класс качества	Органическая нагрузка	Зона сапробности	Индекс сапробности	$БПК_5$, мг/л	Азот аммонийный, мг/л	Минимальные значения O_2, мг/л
1	Нет или очень низкая	олигосапробная	1,0-<1,5	1	следы	>8
1-2	Малая	переходная от олигосапробной к β-мезосапробной	1,5-<1,8	1-2	<0,10	>8
2	Умеренная	β-мезосапробная	1,8-<2,3	2-6	<0,30	>6
2-3	Критическая	α- β- мезосапробная	2,3-<2,7	5-10	<1,0	>4
3	Сильная	α- мезосапробная	2,7-<3,2	7-13	0,50-1,0	>2
3-4	Очень сильная	переходная от α- мезосапробной к полисапробной	3,2-<3,5	10-20	>1,0	>2
4	Чрезмерная	полисапробная	3,5-<4,0	>15	>1,0	<2

Вопросами регламентирования качества водных объектов в странах европейского экономического союза (ЕЭС) занимается Европейская экономическая комиссии Организации Объединенных Наций, сотрудниками которой совместно с другими заинтересованными сторонами разрабатываются руководящих принципы в области мониторинга по оценке качества воды, целевые показатели качества вод применительно к различным видам хозяйственной деятельности на водных объектах – Директивы ЕЭС [287, 288].

В США контролем за состоянием окружающей среды занимается агентство EPA (Environmental Protection Agency). Агентство по защите окружающей среды проводит мероприятия по экологическому контролю и установлению нормативов загрязнений компонентов окружающей среды.

В обзорной работе [283] проведен анализ применения различных биоиндикаторов для оценки качества воды и состояния водных объектов США. Около 56 % программ мониторинга в различных штатах используют различные протоколы и системы оценивания (RBP - Rapid Bioassessment Protocols (Протоколы экспресс биооценки) [307], EMAP – Environmental Monitoring and Assessment Program (Программа мониторинга и оценки окружающей среды), WSA – Wadeable Streams Assessment (Оценка мелководных водотоков), NRSA – National Rivers and Stream Assessment (Национальная оценка рек и водотоков) и др.). В протоколе RBP используется набор биоиндикаторов индивидуаль-

ных как для региональных однородных участков, так и для районов со специфическим загрязнением [307]. Эталонное состояние водных объектов устанавливается внутри региона и может быть применимо ко всем другим водным объектам для установления степени их нарушенности.

Анализ разработанных за рубежом подходов, систем оценки, классификаций состояния водных экосистем позволяет говорить о том, что, несмотря на попытки создать комплексную систему оценки, на первое место выходит биотическая составляющая, благополучие или, как чаще называют зарубежные исследователи «health ecosystem» - здоровье экосистемы.

Так, например, в Канаде предложено оценку «здоровья экосистем» по совокупности изменений гидрологических (общий гидрологический балл), гидрохимических (качество вод) и гидробиологических показателей (состояние макрозообентоса и рыб). Выбор данных показателей обусловлен применимостью их на всей территории Канады и наличия по ним регулярных наблюдений [312]. В данную систему оценки могут быть включены другие характеристики речных экосистем, такие как геоморфология, прибрежная растительность и др. Для каждой из четырех групп показателей разработаны количественные тесты для оценки текущего состояния экосистем, позволяющие определить основные тенденции изменений показателей на основе данных мониторинга в течение нескольких лет. Текущая версия оценки «здоровья» экосистем ограничивается анализом состояния пресноводных речных экосистем, в дальнейшем планируется разработка системы оценки состояния озер и болот.

Для оценки состояния «здоровья» пресных вод, одним из показателей является состояние донных беспозвоночных, по уровню развития которых рассчитывается биотический индекс HBI (HILSENHOFF BIOTIC INDEX (1988)). Данный индекс является показателем «здоровья» донных сообществ. Индекс HBI основывается на чувствительности донных беспозвоночных к нарушениям и на их относительном содержании в образце донных сообщества. Для оценки состояния пресных вод авторами работы [312] в соответствии с требованиями «Всемирного фонда дикой природы» были модифицированы биотический индекс HBI и критерии оценки (таблица 4).

Таблица 4 – Категории оценки состояния пресных вод по биотическому индексу Хилсенхоффа (HBI) [312]

Оценочная шкала биотического индекса HBI	Категории по Хилсенхоффу (1998)	Категории (по WWF)
0,00-3,75	Отличная	Очень хорошая
3,76-4,25	Очень хорошая	
4,26-5,00	Хорошая	Хорошая
5,01-5,75	Удовлетворительная	Удовлетворительная
5,76-6,50	Довольно плохая	Плохая
6,51-7,25	Плохая	Очень плохая
7,26-10,00	Очень плохая	

Вывод об итоговом состоянии водных экосистем делается на основе общего числового балла всех четырех показателей. При оценке состояния статистически проверяется достаточность имеющихся данных (объемов выборок) по каждому показателю.

В обзорной публикации [289] на основе анализа обширных данных литературы и натурных наблюдений, для классификации состояния водных экосистем (пресноводных континентальных и солоноватых водных объектов) авторами отобраны 25 широко применяющихся во всем мире химико-биологических параметров, которые можно подразделить на следующие группы:

- трофическая структура сообщества в целом (баланс хищник-жертва, число инвазивных видов, уровень инвазии в сообществе и др.);

- виды гидробионтов и их функциональные свойства или характеристики (вариабельность и/или стабильность фитопланктона и сообществ рыб, размерное ранжирование, возраст достижения полного развития, трофическая структура сообщества и др.);

- изменение среды обитания (содержание биогенных веществ в водоеме, хлорофилла, численность сообщества сине-зеленых водорослей, прозрачность, содержание в воде кислорода, загрязняющих веществ, болезни рыб и др.);

- изменения на водосборе (антропогенное воздействие, урбанизация, землепользование, экономическая активность в регионе и др.).

Оценку проводят по совокупности трендов изучаемых показателей за многолетний период (1975-2005 гг.). При определении состояния экосистем авторы используют

термин «healthQbecosystem» [289] для обозначения стабильных экосистем, о чем свидетельствует гомеостатическое состояние в течение установленного периода времени. Состояние гомеостаза характеризуется отсутствием или незначительными изменениями исследуемых параметров.

Авторы классифицировали экосистемы как здоровые, в которых тренды имеют менее 50% показателей, нарушенные – более 75%, переходные – от 50% до 75% [289]. Эта классификация позволила выявить общие отклики экосистем на воздействие по широкому спектру географических регионов, а также определить процессы в экосистемах, которые могут быть обусловлены региональными факторами или глобальными процессами.

Обширный обзор методов оценки состояния «здоровья» водных экосистем представлен в справочнике «Handbook of Ecological Indicators for Assessment of Ecosystem Health», где описаны различные индексы, используемые при биоидикации состояния водных экосистем [298], а также критерии выбора экологических индикаторов для оценки «здоровья» экосистем и их классификация. Индексы разрабатываются на основе выявления индикаторных видов; экологических соотношениях видов (Индекс соотношения Нематод и Копепод, Бентосный индекс, Индекс Фельдмана); уровня биоразнообразия (Индекс Шеннона-Винера, среднее число видов, средняя таксономическая определенность и др.); биомассы и обилия видов; индикаторов, объединяющих всю информацию об окружающей среде (комплексные индексы - Индекс трофности, Коэффициент загрязнения, Биотический индекс условий окружающей среды, Индекс экологического состояния эстуарий и т.д.). Приводится обзор применения отдельных индексов для оценки «здоровья» экосистем и подробно описывается процедура оценки.

Кроме биологических индексов оценки экосистем в справочнике [298] описаны и термодинамические индикаторы «здоровья» экосистем, которые могут быть использованы при исследованиях озер и прибрежных зон морей.

При оценке состояния водных экосистем в Южной Африке применяется Программа Orange-Senqu Aquatic Ecosystem Health Monitoring Programme (Программа мониторинга «здоровья» водных экосистем реки Оранжевая) [313], в основе которой заложен комплексный подход к оценке состояния водных экосистем (оценка по биотической и абиотической компоненте). Используются биотические индексы - числовые показатели, включающие один или более компонентов биоты и обеспечивающие оценку биологиче-

ского состояния водного объекта. По их значениям можно «определить реакцию» на изменения количества и качества воды.

Для включения индексов (методов) в программу мониторинга, методы должны быть хорошо проверены и научно обоснованы, результаты – воспроизводимы и точны; методы должны быть практичными т.е. экономически эффективными, не требовать дополнительных экспертиз, относительно быстры и не требовать дорогостоящего оборудования; показатели сообщества должны быть чувствительными к изменениям в водной среде, вызванными деятельностью человека, а также иллюстрировать состояние водной экосистемы, как в конкретный момент времени, так и в течение длительных периодов.

Согласно Программе мониторинга «здоровья» водных экосистем при осуществлении мониторинга используют следующие группы показателей [313].

1. SASS (South Africa Scoring System – южноафриканская система индексов) - индекс используемый как индикатор состояния водных экосистем по уровню развития донных беспозвоночных (личинок насекомых, улиток, крабов и т.д.). Показатели, включенные в данный индекс обладают чувствительностью к изменениям качества воды, а также указывают на общее состояние водных экосистем. Интерпретация данных при использовании этого метода основана на значениях относительной численности индикаторных видов донных организмов.

2. IHI (Index of Habital Integrity - показатель «целостности» среды обитания) – это индекс, который учитывает общее состояние речной экосистемы в русле реки и в прибрежных зонах, а также оказываемую нагрузку. Он отражает взаимодействие между изменениями факторов и ответом экосистемы.

3. Fish - биотический индекс по состоянию биоразнообразия популяции рыб по сравнению с природным состоянием.

4. Riparian Vegetation - биотический индекс, оценивающий состояние прибрежной растительности по сравнению с природным состоянием.

5. Diatoms - Перифитон или диатомовые водоросли – этот биотический индекс указывает на наличие биогенных и загрязняющих веществ в воде.

6. Geomorphology – показатели осадконакопления.

7. Assessment of hydrological data. Assessment of existing water quality data – Оценка гидрологических данных. Оценка текущих данных о качестве воды.

При оценке качества воды определяют содержание в воде питательных веществ (биогенные вещества в воде); TDS – минерализация воды (общее количество растворенных солей); системные переменные (параметры) (pH, мутность, температура, растворенный в воде кислород) и токсины [313].

Отдельная программа мониторинга качества воды разработана в дополнение к регулярным исследованиям и является основой для оценки долгосрочных изменений качества воды. Определяют также расход воды и его изменчивость, которые являются двумя наиболее важными показателями состояния водной экосистемы. Интерпретация результатов оценки включает сравнение экологического состояния водных экосистем по каждому индексу и измерение количества отклонений от эталонного состояния. Используется шесть категорий состояния экосистем: от «A» - экосистемы в естественном состоянии до «F» – в критически измененном состоянии (таблица 5) [313].

Таблица 5 – Экологические категории состояния водных экосистем [313]

Экологические категории	Состояние	Описание	Цвет
A	Естественное	Естественное ненарушенное	Голубой
B	Хорошее	Преимущественно естественное с незначительными изменениями	Зеленый
C	Удовлетворительное	Умеренно измененное	Желтый
D	Плохое	Измененное в значительной степени	Красный
E	Серьезно измененное	Серьезно изменённое	Пурпурный
F	Критически измененное	Критически или экстремально измененное	Черный

Во многих зарубежных исследованиях при оценке состояния водных объектов рассматривают устойчивость водных экосистем. В работах авторов [285, 286] разработана программа «Аудит устойчивости рек» (SRA – Sustainable Rivers Audit). Целью этой программы является систематическая оценка «здоровья» речных экосистем бассейна Мюррей-Дарлинг. Данная программа имеет сходство с программой США по экологическому мониторингу и оценке состояния экосистем, Европейской водной рамочной директивой и Программой мониторинга «здоровья» водных экосистем в Южной Африке

[313]. В качестве индикаторов состояния экосистем использованы гидрологические, геоморфологические показатели, характеристики развития беспозвоночных, рыб и растительности. На основе экспертных оценок и концептуальных моделей определяется значимость каждого индикатора в оценке состояния экосистемы.

Состояние водных экосистем в отдельных работах оценивается через устойчивость экосистем. В работе [280] рассматривается взаимодействие пяти изменяющихся факторов окружающей среды, которые в большей степени определяют функционирование любой водной экосистемы. Взаимодействие этих факторов в пространстве и времени обусловливает изменчивость состояния пресноводных экосистем [280]. Учитываются следующие характеристики и факторы: тип водного объекта (река, озеро, водохранилище); процессы седиментации и поступления органических веществ; температура и характеристики регулирования метаболических процессов, уровни активности и продуктивности водных организмов; гидрохимические характеристики и показатели развития сообществ живых организмов в водной среде и условия изменения структуры сообществ. В естественно функционирующих пресноводных экосистемах все эти факторы изменяются в определенном диапазоне в течение года в зависимости от сезонных изменений климата и продолжительности дня. Оценка «целостности» пресноводных экосистем проводится по совокупности всех пяти факторов изменчивости характеристик экосистем.

Как известно, оценка качества воды во многих странах является конечной целью деятельности организаций, занимающихся проблемами водных ресурсов и охраной окружающей среды особенно в последние годы в связи с постоянно растущим вниманием к глобальным проблемам (в том числе в связи с изменениями климата). На этом фоне во всем мире разрабатываются и принимаются различные инструменты и рекомендации по качеству воды для регулирования изменений качества воды и достижения устойчивого использования водных ресурсов.

За рубежом в последние годы при исследованиях в области методологии оценки качества воды большинство ученых применяют Канадский индекс качества воды (Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI)) и различные статистические подходы для оценки качества воды водных объектов [275, 276, 278, 279, 281, 300].

В исследовании [278] применение индекса качества воды сочетается с использованием дискриминантного и кластерного анализа для оценки качества воды в бассейне реки Чорух (Турция). При этом показано, что корректность оценки качества воды во многом зависит от правильной группировки исследуемых речных участков. А в работе [300] акцентируется внимание на использовании многомерного статистического подхода при изучении физико-химических параметров и содержании микроэлементов (включая потенциально токсичные элементы) в подземных и поверхностных водах, используемых для бытовых целей. Результаты таких исследований дают возможность не только оценивать качество воды, но и выявлять возможные риски для здоровья человека при присутствии в воде потенциально токсичных элементов.

Одним из развивающихся направлений в области развития и улучшения методологии оценки качества вод является именно риск-ориентированный подход, активно применяющийся в системах законодательного регулирования развитых стран. Ухудшение качества воды в основном связано с интенсивным ростом населения и процессом урбанизации, индустриализации и развития сельскохозяйственного производства и др. Такая интенсивная социально-экономическая деятельность ускоряет процесс загрязнение воды и вызывает экологические риски, связанные с загрязнением водной среды. В таком контексте решать проблему оценки качества воды предлагается на основе риск-ориентированного подхода, суть которого заключается в учете вероятности ухудшения качества воды (то есть наличии риска) при различных условиях развития процессов в водных объектах и различных видах техногенного воздействия [282, 301].

Второе важное и значительное направление в области методологии оценки качества воды и состояния водных объектов состоит в разработке различных комплексных, интегральных показателей качества воды. Несмотря на то, что большинство используемых индексов качества воды (WQI) чрезвычайно важны для характеристики степени загрязнения водных объектов и хорошо себя зарекомендовали, необходимо проводить исследования в этой области для создания более универсальных индексов или показателей. Как правило, WQI не предназначены для широкого применения и обычно разрабатываются для конкретных водосборов рек или регионов, за исключением случаев, когда разные бассейны рек имеют схожие природно-климатические характеристики и наблюдения проводятся по сопоставимым параметрам и одинаковому набору показателей качества воды.

В настоящее время особенно актуален вопрос разработки универсального индекса качества воды (Universal Water Quality Index **(**UWQI)), который мог бы функционировать для разных рек в пределах больших территорий, например, для большинства водосборных бассейнов рек Южной Африки [278]. Принимая во внимание такую необходимость, авторами представлен индекс, который не ограничивается определенными границами применения. Предлагаемый UWQI основан на использовании (сочетании) разных методических подходов: на методе взвешенной арифметической суммы значений параметров, учете их весовых коэффициентов и ранжированных значениях субиндексов, установленных на основе экспертного заключения специалистов и литературных фондовых данных. Апробация предложенного UWQI показала незначительные отклонения от идеальных (теоретических) значений, хорошее сопоставление модельных оценок качества воды и результатов оценки по другим классификационным методиками. Это позволяет авторам [278] предложить использование UWQI для речных басенной в пределах значительного региона (Южной Африки).

Аналогичный модифицированный индекс качества воды описан в исследованиях авторов [275]. Отмечается, что традиционная методология расчета индекса качества воды (WQI) представляет собой длительный процесс и применяется к конкретным параметрам качества воды, что ограничивает его использование набором показателей и видами водопользования. Поэтому в данной работе обсуждается методический подход к расчету WQI, основанного на двух «многокритериальных методах принятия решений»: метод аналитического иерархического процесса (для оценки значимости показателей и их весовых характеристик) и «оценка значимости» с помощью метода категориальной оценки. Эти методы облегчают простые рутинные вычисления, обеспечивают точность и объективность анализа данных, повышают точность.

Новый методологический подход к оценке качества воды предложен в работе [311]. Разработка нового индекса качества воды (WQI) проведена на основе сложного математического подхода – Анализа среды функционирования (Data Envelopment Analysis – DEA) – методология сравнительного анализа деятельности сложных технических, экономических и социальных систем. Этот подход позволяет уйти от субъективности при разработке индексов (убрать субъективные суждения при установке весовых коэффициентов и др. параметров входных данных). При использовании модели DEA предполагается получение объективных переменных для оценки качества воды, соот-

ветствующим образом полученных из наблюдаемых значений гидрохимических параметров.

При необходимости прогнозирования качества воды и изменения уровня загрязненности, как правило, используют методы математического моделирования. Так, в работе [315] показана возможность применения моделирования процесса ассимилирующей способности реки Сину для оценки качества воды при разных режимах сброса сточных вод и различных уровнях концентраций поллютантов в стоках. Расчеты проводились с учетом водности реки, что позволило авторам найти такие условия, при которых параметры качества воды не превысили бы контрольные пределы самоочищающей способности водного объекта.

В обзорной работе, опубликованной в 2023 году [284], проводится анализ различных индексов качества воды, рассматриваются общие подходы. Так отмечается, что при разработке любого индекса качества воды (WQI) проводят 4 этапа: (1) выбор параметров, (2) преобразование исходных данных (нормирование), (3) присвоение «весов» (весовых коэффициентов) и (4) агрегирование значений субиндекса в единый комплексный индекс, характеризующий уровень загрязненности воды. Как правило, все индексы качества воды включают в себя физико-химические параметры, гидрохимические показатели качества воды и биологические параметры, которым уделяется меньше внимания. Основной вывод, к которому приходят авторы, состоит в том, чтобы методология оценки качества воды имела прогресс, развивалась и совершенствовалась, необходимо включать в разработки современные научные достижения в различных областях знания и усиливать экологическую составляющую.

К сожалению, новых информативных биологических критериев оценки качества в исследованиях последних лет выявить не удалось. Традиционно используются биологические индикаторы уровня загрязненности водной среды основных биологических сообществ водных организмов (рыбы, донные сообщества, планктон, макрофиты и др.). В качестве экспресс-анализа применяются методики экотоксикологических исследований при изучении качества воды водных объектов и водоемов, требующие дальнейших исследований в случаях обнаружения высокой степени токсичности воды.

Таким образом, анализ разработанных за рубежом подходов, позволяет говорить о том, что практически во всем мире используются аналогичные принципы и методы оценки качества воды и состояния водных объектов, основанные на гидробиологиче-

ском и химическом анализе воды. В современных зарубежных публикациях последних лет основное внимание исследователей сосредоточено на разработке универсальных (или модифицированных) индексов качества воды. Результаты гидробиологических исследований в целом и биоиндикации позволяют рассчитывать различные индексы оценивания как качества воды, так и состояния водных экосистем, но данное направление несколько отстает в развитии от методов оценки качества воды по гидрохимическим показателям.

2.2.2 Подходы к оценке качества воды и состояния водных объектов, используемые в России

В соответствии с ГОСТ Р 59053–2020 «качество воды» и «состояние водного объекта» это характеристика состава, свойств воды и состояния водного объекта применительно к конкретным видам водопользования. Очевидно, что эти понятия тесно связаны, а оценка качества воды и состояния водных объектов должна быть комплексной. Разработка систем оценки качества воды привела к созданию различных классификаций на основе комплекса химических, физико-химических, биологических, микробиологических и других показателей.

При оценке качества воды по большому числу ингредиентов возникают определенные трудности, связанные с необходимостью рассмотрения значительных массивов чисел. Поэтому предпринят ряд попыток введения в практику оценки качества воды обобщенного или комплексного показателя, который представлял бы собой скалярную величину, функционально связанную со множеством значений рассматриваемых ингредиентов [135].

Согласно нормативному документу РД 52.24.643 «комплексная оценка степени загрязненности, качества поверхностных вод – это представление о степени загрязненности воды либо ее качестве, однозначно отражающее в той или иной форме, через ту или иную систему показателей всю либо определенным образом ограниченную совокупность характеристик состава и свойств воды относительно базисных количественных критериев, чаще нормативов, для определенного вида водопользования или водопотребления» [183, с. 22].

Комплексные системы оценки качества поверхностных вод в зависимости от вида обобщения и степени формализации разделяются на три группы: косвенные, обобщенные, интегральные. При этом формы выражения комплексных оценок включают все возможные варианты: коэффициенты, показатели, типы, ранги, категории, индексы, классификации и пр. (таблица 6) [135, 147].

Большое внимание уделяется вопросам создания и применения интегральных оценок, которые являются показателями высокой степени формализации. Они агрегируют гидрохимическую информацию теми или иными приемами как по наблюдаемым, так и по относительным показателям [147].

Усложнение программ мониторинга, возросшие объемы данных, необходимость их сопоставления со стандартами и критериями качества воды и сравнения с данными по другим водным объектам инициировали разработку принципов общих классификационных схем [134, 135].

В работе украинских исследователей рассматриваются различные подходы к обобщению гидрохимической и гидробиологической информации о качестве поверхностных вод, возможности и ограничения отдельных методов комплексной оценки экологического благополучия водных экосистем [28]. Проведенное А.А. Верниченко с соавтором обобщение предложенных к настоящему моменту классификаций водных объектов отличаются по целому ряду признаков:

- по принципам, которые положены в основу их построения (оценка степени загрязненности природных вод; пригодность вод для определенных видов водопользования; экологическое состояние водных объектов);

- по методам формирования отдельных классов качества;

- по способам агрегации данных и др.

По мнению авторов, именно экологическая классификация поверхностных вод является необходимой для управления водными ресурсами и является основой для разработки экологических нормативов качества воды и оценки уровня загрязненности водных объектов [28].

Таблица 6 – Характеристика некоторых методов комплексной оценки качества воды и степени загрязненности поверхностных вод [134]

Авторы метода	**Показатели**	**Количество используемых показателей**	**Критерий оценки**	**Необходимый объем информации**	**Классификация**
Былинкина. А.А., Драчев С.М., Ицкова А.И.	Химические, бактериологические, гидробиологические и физические	17 (группа токсичных веществ)	Интервалы значений показателей, установленные на основании литературных данных и личного опыта авторов	Строго ограничен перечень учитываемых ингредиентов, количество информации не устанавливается	Шесть классов качества: 1 – очень чистая, 2- чистая, 3 – умеренно чистая, 4 – загрязненная, 5 – грязная, 6 – очень грязная
Организации и страны – члены СЭВ	Химические, биологические	49	Нормативы качества воды, установленные на основании опыта специалистов водного хозяйства стран-членов СЭВ и национальных стандартов	Качественный состав зависит от цели исследований, количество данных – не менее 24 результатов анализа	Шесть классов качества: 1 – очень чистая, 2 – чистая, 3 – очень незначительно загрязненная, 4 – незначительно загрязненная, 5 – сильно загрязненная, 6 – очень загрязненная
Бельнер Х.А., Каск А.К., Саава А.Э., Даубарас К.Т., Мицкене П.	Химические, микробиологические	Не менее 11	Интервалы значений, установленные в результате анализа региональных данных. Базовое значение соответствует действующим нормативам	Перечень ингредиентов не лимитирован по одной группе веществ (вредные), нестрого ограничен по другой (органические). Количество информации не огра-	Пять классов качества: 1 – чистая, 2 – слабо загрязненная, 3 – умеренно загрязненная, 4 – загрязненная, 5 – сильно загрязненная

Авторы метода	Показатели	Количество используемых показателей	Критерий оценки	Необходимый объем информации	Классификация
				ничено	
Амбразене Ж.П.	Микробиологические, гидробиологические и химические	16	Интервалы значений показателей, установленные с использованием регрессивного анализа	Качественный состав показателей строго лимитирован, количество информации не устанавливается	Пять классов качества: 1 – чистая, 2 – слабо загрязненная, 2-3 – умеренно загрязненная, 3 – сильно загрязненная, 4 – очень сильно
Жукинский В.Н., Оксиюк О.П., Олейник Г.Н., Кошелева С.И.	Химические, гидробиологические, бактериологические, физические	20 (16 из них – обязательные)	Интервалы значений показателей, установленные на основании литературных данных и личного опыта авторов	Качественный состав показателей лимитирован предлагаемой классификацией	Пять классов качества: 1 – предельно чистая, 2 – чистая, 3 – удовлетворительной чистоты, 4 – загрязненная, 5 – грязная; и 9 разрядов
Емельянова В.П., Данилова Г.Н., Родзиллер, И.Д.	Гидрохимические	Не более 9	Нормативы рыбохозяйственного и хозяйственно-бытового водопользования и водопотребления	Качественный состав показателей ограничен перечнем, учитываемым при расчетах общесанитарного индекса	Пять классов качества: 1 – очень чистая, 2 – чистая, 3 – умеренно загрязненная, 4 – загрязненная, 5 – грязная
Плотникова И.П., Сологуб А.М.	Физико-химические, химические, бактериологические	Не менее 8, верхний предел не ограничен	Интервалы значений показателей (кроме токсичных веществ), установленные на основании анализа их содержания в водо-	Качественный состав лимитирован 7 показателями; используются данные за последние 3 года	Пять классов: 1 – чистая, 2 – относительно чистая, 3 – слабо загрязненная, 4 – загрязненная, 5 – грязная

Авторы метода	Показатели	Количество используемых показателей	Критерий оценки	Необходимый объем информации	Классификация
			емах Сибири и Дальнего Востока. Для токсичных веществ нормативы хозяйственно-питьевого и культурно бытового водопользования		
Новиков Ю.В., Плитман С.И., Ласточкина К.О., Хвастунов Р.М.	Химические, бактериологические	Не устанавливается	Нормативы хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования и водопотребления	Перечень и количество показателей не устанавливаются	Четыре уровня загрязненности: 1 – допустимый, 2 – умеренный, 3 – высокий, 4 – чрезвычайно высокий
Фрумин Г.Т. и др.	Гидрохимические	Не устанавливается	Нормативы рыбохозяйственного водопользования	7 показателей состава воды минимизирующие величину обобщенной функции желательности	Шесть классов качества: 1 – очень чистая, 2 – чистая, 3 – умеренно-загрязненная, 4 – загрязненная, 5 – грязная, 6 – очень грязная

Для оценки качества воды и получения обобщенной информации об уровне загрязненности водных объектов в настоящее время в России используется ***метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод суши***, разработанный в Гидрохимическом институте. «Методической основой комплексного способа является однозначная оценка степени загрязненности воды водного объекта по совокупности загрязняющих веществ: для любого водного объекта в точке отбора проб воды; за любой определенный промежуток времени; по любому набору гидрохимических показателей. В качестве норматива используют предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ как для воды рыбохозяйственных водоемов, а также водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования» [183, с. 3]. Рассчитывается интегральный показатель – удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ), который с определенной степенью условности позволяет оценивать качество воды водного объекта, проводить сравнительный анализ состояния загрязненности различных объектов и изменения этого состояния во времени.

Биологический анализ имеет решающее значение во всех вопросах, затрагивающих не только качество воды, но и состояние водоема в целом. Он позволяет установить степень загрязненности воды органическими веществами (сапробность), токсическими соединениями, степень трофности водного объекта и оценить состояние гидробиоценозов [121]. Оценка качества воды и состояния водных объектов может быть получена с использованием стандартных широко используемых методов биоиндикации, которые позволяют оценить на основе функциональных или структурных откликов сообществ водных организмов совокупный эффект на изменение качества водной среды [121, 135].

Преимущество использования этих методов обуславливается их надежностью и объективностью. Качество водной среды определяет состояние биоты, которая реагирует на негативные воздействия любого происхождения. Для адекватного экологического нормирования необходимо не только выбирать наиболее показательные абиотические и биотические характеристики системы, но и обязательно учитывать закономерности реакции биоты на изменения водной среды [269].

За многолетний период разработано множество систем биоиндикации. Для сравнительных и унифицированных оценок разработано большое количество индексов и систем оценки качества воды и состояния водных объектов, выделены индикаторные виды [12, 14, 15, 113, 126]. Существовала ранее (и осталась актуальной и сейчас) необ-

ходимость создания единой системы биоиндикации и экосистемных оценок на основе комплексного подхода. Все бóльший акцент ставится на значимости биотической части экосистемы и закономерностей ее функционирования в целом [113].

Обзор существующих на данный момент подходов к оценке состояния экосистем приведен в работе Н.Г. Булгакова. Автор подчеркивает важность методов биоиндикации, которые позволяют оценивать состояния сообществ водных организмов в природных средах по целому комплексу биотических показателей. Эти методы представляют практически единственную возможность получения информации о влиянии параметров водной среды и их взаимодействия. И только «на основе биотической оценки природной системы можно как описать ее состояние, так и дать прогноз ее развития и рекомендации по использованию» [19, с. 7].

Классификация качества воды и степени ее загрязненности по гидробиологическим показателям, принятая в системе Росгидромета, содержит критерии оценки, установленные по величинам индекса сапробности для планктонных сообществ, биотического индекса Вудивиса и олигохетного индекса Гуднайта-Уитлея, общего числа микроорганизмов и соотношения с сапрофитами [180, 226].

Задача состоит в том, чтобы на фоне естественных перестроек структуры экосистемы, связанных с явлениями природного характера, выделить наиболее информативные показатели и определить критерии их изменчивости во взаимосвязи с уровнем антропогенного воздействия. Выявить возможные изменения состояния водной экосистемы и определить критерии этих изменений можно на основе анализа многолетней изменчивости абиотических и биотических информативных показателей, характеризующих трансформацию компонентного состава водной среды и структурно-функциональной организации сообществ водных организмов [203].

В последние годы в России продолжаются исследования и научно-методические работы в области совершенствования методологии оценки качества воды и состояния водных объектов в тех же направлениях, которые сформировались в последние десятилетия.

Недостатки современной методологии оценки качества воды и состояния водных объектов обсуждаются в работе [26]. Авторами акцентируется внимание на таких проблемах, как «недостаточное научное обеспечение методов оценки качества природных вод, состояние системы управления качеством (регулирования), отсутствие современной

и адекватной задачам водоохраны системы мониторинга, недостаточное финансирование водоохраны… Не проводится мониторинг микрозагрязнений, прежде всего, ксенобиотиков. Фактически отсутствует мониторинг донных отложений. Не отработана технология обработки гидрохимической информации» [26, с. 47].

При этом для развития и улучшения методологии оценки качества воды рекомендовано использовать «риск-ориентированный подход, активно применяющийся в системах законодательного регулирования развитых стран» [26, с. 48].

Одним из важных подходов является усиление экологической составляющей в методологии. Так, в работах Т.И. Моисеенко обосновывается важность, необходимость оценки качества воды и «здоровья» экосистемы водного объекта с позиций экологической парадигмы. Автор подчеркивает, что «биологические критерии диагностики состояния экосистем (in-situ), основанные на изучении закономерностей изменчивости уровней организации водных организмов и сообществ, адекватно отражают качество вод и состояние «здоровья» экосистем» [124, с. 104].

Информативность биологических критериев оценки качества вод подтверждается результатами многолетних исследований различных авторов, а использование экотоксикологического подхода при изучении качества воды водных объектов и водоемов обеспечивает «выявление основного повреждающего фактора для экосистем и практическую значимость решения задач нормирования загрязнения» [126, с. 38].

Развитию биоиндикационных методов оценки качества воды посвящена обзорная работа С.С. Бариновой [15], в которой рассматриваются проблемы, связанные с внедрением методов биоиндикации в региональном масштабе. Для более широкой интерпретации данных биоиндикации в экологических оценках необходимо проводить составление региональных баз данных биоиндикаторов качества воды, уровня их загрязненности и состояния водных объектов.

Второе важное и значительное направление в области методологии оценки качества воды и состояния водных объектов состоит в разработке различных комплексных, интегральных показателей качества воды. Здесь, как и в прошлые десятилетия исследователи спорят о достоинствах и недостатках различных показателей и индексов качества воды [89], однако доминирующая роль комплексных показателей не отрицается в работах как отечественных, так и зарубежных исследователей ([275, 281, 284, 300] и др.).

Методы комплексных показателей могут дать обобщенную оценку качества водной среды, в отличие от методов, в основе которых лежит дифференцированная оценка по каждому отдельному показателю: гидрологическому или гидрохимическому, микробиологическому, гидробиологическому и др. [89].

Эта часть методологии оценки качества воды и состояния водных объектов по разработке различных комплексных, интегральных показателей качества воды активно развивается сотрудниками Санкт-Петербургского государственного университета под руководством В.В. Дмитриева. Проводится разработка различных интегральных критериев и индексов оценки качества воды, состояния и экологического благополучия водного объекта [7, 58-61].

Для развития этого направления ведутся исследования в области разработки критериев выбора параметров водных объектов для интегральной оценки их экологического статуса. Авторами статьи [258] предложено делать выбор параметров оценки на основе «компьютерного имитационного моделирования функционирования водных экологических систем». В публикациях последних лет предлагается проводить интегральную оценку экологического статуса водного объекта на основе моделей-классификаций интегративных свойств (продуктивность, качество воды, потенциальная устойчивость) [9]. Дополнительно, на основе не только теоретических, но и практических данных (результатов полевых исследований) рекомендуется проводить оценку экологических функций водной экосистемы и факторов, влияющих на качество воды и состояние водного объекта в целом.

Исследования коллектива авторов [167] развивают направление разработки индексов. Рассмотрена возможность использования «композитных индексов и субиндексов для разработки подходов к оценке интегративных свойств водных объектов и оценке их экологического состояния в целом». Разработка композитных индексов и субиндексов для оценки экологического состояния водного объекта связана с необходимость учета их неаддитивных свойств на основе методов интегрального оценивания, нормирования показателей и выбора приоритетов (весов) для построения композитного индекса экологического статуса (КИЭС) водоема.

Появляются также и работы, в которых предлагается проводить комплексную оценку уровня загрязненности донных отложений по аналогии с комплексной оценкой качества воды. Именно донные отложения рек, являясь депонирующей средой для за-

грязняющих веществ, выступают важным элементов при общей оценке качества воды поверхностных вод. В работе [23] показано применение алгоритма расчета удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (по УКИЗВ) для комплексной оценки загрязненности донных отложений. «Границами шкалы служат осредненные частотные характеристики вариационных рядов содержаний тяжелых металлов в пробах отложений, отнесенные к их медиане. Уровень загрязненности донных отложений оценивается относительной характеристикой, рассчитанной сопоставлением фактических концентраций с региональными фоновыми. Неоднородность гранулометрического состава донных отложений в алгоритме расчета УКИЗДО корректирует расчет интегрального показателя с помощью соответствующих коэффициентов» [23, с. 51]. Такой подход вполне оправдан, поскольку авторами показана хорошая сходимость результатов оценки уровня загрязненности донных отложений с результатами оценки качества воды традиционным комплексным методом.

Таким образом, в последние годы продолжается развитие разработок комплексных методик оценки качества воды основанных на различных индексах и показателях, возросло число исследований в области экологизации методологии оценки качества воды и состояния водных объектов.

Методические подходы к оценке состояния водных объектов в системе государственного экологического мониторинга

Вероятные изменения водной экосистемы под влиянием антропогенных и иных воздействий можно проследить на основе анализа совокупности абиотических и биотических параметров функционирования водных объектов и критериев их изменчивости [198, 199]. Для этого необходимо выделить информативные показатели, характеризующие возможную изменчивость в развитии сообществ водных организмов и компонентного состава водной среды, и установить количественные значения этих показателей в границах различных состояний водных экосистем в процессе их антропогенной трансформации.

Состояние водной экосистемы можно оценить как по гидрохимическим, так и гидробиологическим показателям. С экологической точки зрения, более объективным будет результат биологической оценки, отражающий отклик сообществ гидробионтов на состояние и качество водной среды.

Оценка состояния водных экосистем по гидрохимическим показателям

Один из используемых в системе государственного мониторинга подходов к оценке состояния водных экосистем по гидрохимическим показателям разработан сотрудниками Гидрохимического института, на основе обобщения и статистической обработки многолетней гидрохимической и гидробиологической информации государственной наблюдательной сети, данных о состоянии большого числа водных объектов России и анализа существующих подходов. В рекомендациях [175, 176] представлен классификатор состояния водных экосистем, позволяющий оценить состояние водной среды по интегральным гидрохимическим показателям качества воды: растворенному в воде кислороду, содержанию легкоокисляемых органических веществ и азота аммонийного (таблица 7).

Таблица 7 – Классификатор состояния водных экосистем по гидрохимическим показателям [175, 176]

Состояние экосистемы	Диапазоны модальных интервалов многолетних рядов абиотических параметров		
	минимальных значений растворенного кислорода, мг/дм^3	легкоокисляемых органических веществ по БПК$_5$, мг/л O_2	аммонийного азота, мг/дм^3
Естественное	свыше 6,0	0,10-1,0	н.о.*-0,10
Равновесное	до 4,0-6,0	0,50-2,0	н.о.-0,50
Напряженное	до 2,0-3,9	2,1-4,0	свыше 0,50 до 1,0
Критическое	до 1,0-1,9	4,1-7,0	свыше 1,10 до 3,00
Катастрофическое	менее 1,0	свыше 7,0	свыше 3,00
Примечание: *н.о. – ниже предела обнаружения			

Оценка состояния водных экосистем по гидробиологическим показателям

В число биотических параметров изменчивости состояния водных систем включены количественные показатели развития тех сообществ водных организмов, которые наиболее объективно отражают последствия антропогенного воздействия и загрязнения водных объектов. При этом происходит усиление процессов антропогенного эвтрофирования и экологического регресса в водных экосистемах, направленность которых определяется уровнем или спецификой антропогенного воздействия.

Один из используемых в системе государственного мониторинга подходов к оценке состояния водных экосистем по гидробиологическим показателям предполагает следующую схему последовательных оценок.

На первом этапе осуществляется выявление направленности внутриводоемных процессов – антропогенного эвтрофирования и экологического регресса, которые ускоряются при усилении антропогенного воздействия на водный объект. Направленность определяется по «эффекту антропогенного воздействия на биотическую компоненту экосистемы» путем статистической обработки многолетней информации о распределении общей численности фитопланктона согласно ведомственным нормативным документам [175, 176, 182].

Для оценки «эффекта антропогенного воздействия на биотическую компоненту экосистемы» надо рассчитать статистические параметры вариации значений общей численности фитопланктона: относительную плотность вариационного ряда значений ($П_o$) и моду модального интервала (M_o), расчет которых проводят по формулам (9) и (10) соответственно [175]:

$$П_o = \frac{w}{k}, \tag{9}$$

где w – частость, т.е. доля того или иного интервала в сумме всех частот, %;

$к$ – величина интервала.

$$M_o = x_{M_{\min}} + k\frac{w_{M_o} - w_{M_o-1}}{(w_{M_o} - w_{M_o-1}) + (w_{M_o} - w_{M_o+1})}, \tag{10}$$

где $x_{M_{\min}}$ - нижняя граница модального интервала; w_{M_o} - доля частоты модального интервала; w_{M_o-1} - доля частоты интервала, предшествующего модальному; w_{M_o+1} - доля частоты интервала, следующего за модальным.

По значениям рассчитанных показателей определяют «эффект антропогенного воздействия» по классификатору, приведенному в таблице 8.

Таблица 8 – Классификатор оценки эффекта антропогенного воздействия на биотическую компоненту водной экосистемы [175, 176]

Эффект антропогенного воздействия	Статистические характеристики вариации общей численности фитопланктона	
	Мода $M_{оч}$, тыс.кл./мл	Относительная плотность $П_{от}$, %
Экологический регресс	до 0,5	От 100 до 300
Элементы экологического регресса	от 0,5 до 1,5	От 50 до 100
Антропогенное напряжение с элементами экологического регресса	1,6-2,0	От 20 до 60
Антропогенное напряжение с элементами эвтрофирования	Свыше 2,0 до 10,0	От 50 до 100
Антропогенное эвтрофирование	Свыше 10,0	До 30

Второй этап исследования связан с оценкой уровня того внутриводоемного процесса, который усиливается (или преобладает) в экосистеме при антропогенном воздействии (при загрязнении и т.п.).

Уровень антропогенного эвтрофирования оценивают согласно методическим рекомендациям, приведенным в [181], и по критериям, представленным в таблице 9. Для оценки уровня антропогенного эвтрофирования водной системы проводится расчет статистических характеристики развития фитопланктонного сообщества, используются многолетние данные.

Таблица 9 – Классификация уровня антропогенного эвтрофирования водных экосистем [181]

Статистические характеристики развития фитопланктонного сообщества	Значения характеристик при уровнях эвтрофирования		
	низком	среднем	высоком
Мода модального интервала общей численности $M_{оч}$, тыс.кл\мл	2,0-10	2,0-20	1,0-10
Частота обнаружения высоких значений общей численности α_1, %	10-40	10-40	20-50
Кратность превышения аномально высоких значений общей численности, β	5-50	50-200	10-300
Мода модального интервала общего числа видов, $M_{ов}$	20-30	10-20	10-25
Мода модального интервала относительной численности доминирующего вида $M_{од}$, %	30-50	50-100	20-70
Мода модального интервала относительной численности группы синезеленых весной $M_{ос-з}$	до 5	30-50	40-60

Уровень экологического регресса оценивают согласно методическим рекомендациям, приведенным в [182], и по критериям, представленным в таблице 10. Оценка уровня экологического регресса водной системы проводится на основе многолетних данных и расчета статистических характеристики развития планктонных и бентосных сообществ (модальный интервал значений общей численности бактериопланктона, макрозообентоса и относительной численности группы олигохет; модальный интервал числа видов фитоперифитона и общей численности фитопланктона; модальный интервал значений относительной численности группы коловраток в зоопланктоне).

Заключительный этап исследования состоит в определении состояния водной экосистемы по уровню преобладающего внутриводоемного процесса (антропогенного эвтрофирования или экологического регресса) [175, 176] по шкале, приведенной в таблице 11.

Таблица 10 – Классификация уровня экологического регресса в водной экосистеме [175, 182]

Уровень экологического регресса	Модальный интервал вариационных рядов					
	общей численности бактериопланктона, млн.кл./мл	общей численности макрозообентоса, тыс.экз./м^2	относительной численности группы олигохет, %	числа видов фитоперифитона	относительной численности коловраток в зоопланктонном сообществе, %	общей численности фитопланктона, тыс.кл./мл
Антропогенное напряжение с элементами экологического регресса	От 0,3 до 1,0	От 1,0 до 8,5	От 30 до 98	от 15 до 45	До 30	Нет ограничений
Элементы экологического регресса	От 1,1 до 5,0	От 0,10 до 30,0	От 50 до 100	От 10 до 20	От 25 до 90	От 1,10 до 5,0
Экологический регресс	От 5,1 до 15,0	От 0,01 до 10,0	От 70 до 100	От 5 до 20	От 70 до 100	От 0,01 до 0,70
Метаболический регресс	Свыше 15,0	Гибель зообентоса, в пробах присутствуют хитиновые остатки насекомых, ракообразных и раковины моллюсков	Слабое развитие личинок олигохет и хирономид*	Отдельные виды или полная гибель водорослей. Обрастания состоят в основном из бактерий и бесцветных жгутиковых*	Частичная или полная гибель	Частичная или полная гибель
Примечание: * Признаки метаболического регресса приведены согласно [226]						

Таблица 11 – Оценка состояния водных экосистем по уровню внутриводоемных процессов [175, 176]

Состояние экосистемы	Уровень экологического регресса	Уровень антропогенного эвтрофирования
Естественное	Регресс отсутствует	Процесс отсутствует
Равновесное	Антропогенное напряжение с элементами экологического регресса	Низкий
Кризисное	Элементы экологического регресса	Средний
Критическое	Экологический регресс	Высокий
Катастрофическое	Метаболический регресс	Процесс отсутствует

Таким образом, используемая в систему государственного мониторинга методика оценки состояния водных экосистем основывается на биотическом подходе и основой ее является установление отклика сообществ водных организмов на ухудшение качества воды как среды их обитания.

В общем, во многих предлагаемых разными авторами и используемых в разных странах методиках и систем оценки качества воды и экологического состояния водных объектов используются схожие принципы, основанные на применении данные биоиндикации (оценки отклика биоты) в сочетании с гидрохимическими и гидробиологическими методами, а нередко и с геоморфологическими характеристиками. Вместе с тем различные классификации, системы оценок качества воды и состояния водных экосистем носят условный характер. Критерии оценок у всех авторов различны, что не всегда позволяет получить объективную картину экологического состояния водных объектов. Многообразие водных объектов и условий их функционирования вызывает необходимость разработки нормативов для оценки качества воды и состояния водных объектов с учетом их природных особенностей.

2.2.3 Экологическое нормирование загрязнения водных объектов и недостатки нормативов ПДК

Основная цель экологического нормирования состоит в ограничении антропогенных воздействий экологическими возможностями живых экосистем и гармонизации взаимодействия человека с окружающей средой. При экологическом нормировании загрязнения водных экосистем необходимо учитывать следующие факторы [83]:

- возможность перехода загрязнителей из одной среды в другую (особенно устойчивых загрязняющих веществ);

- воздействие таких загрязнителей на популяции и экосистемы;

- множественность путей загрязнения и самоочищения водных экосистем;

- выявление наиболее чувствительных к антропогенному воздействию, «критических», компонентов экосистемы;

- развитие научного подхода к нормированию антропогенных воздействий с учетом их влияния на водные экосистемы.

При разработке методологии экологического нормирования важное место занимает изучение закономерностей распространения, накопления, деструкции, биоаккумуляции и трофических превращений загрязняющих веществ в экосистемах в локальном, региональном и глобальном масштабах. Поэтому экологические нормативы не могут быть едиными для экосистем различного типа, функционирующих в различных природно-климатических условиях.

При нормировании антропогенных воздействий большое значение имеют приоритетные факторы (загрязнители окружающей среды). Основным критерием при определении допустимой экологической нагрузки являются стабильность и биоразнообразие экосистем, а также отсутствие снижения продуктивности. Именно поэтому биологический подход при экологическом нормировании воздействий на компоненты окружающей среды является первостепенным [83].

Химическое загрязнение водных объектов происходит вследствие поступления в водную среду широкого комплекса органических и неорганических веществ [138, 143, 144, 191, 202, 305]. «Экологическими последствиями этого является ухудшение качества воды и состояния водных экосистем за счет усиления процессов антропогенного экологического регресса или антропогенного эвтрофирования» [204, с. 52].

Основным инструментом контроля качества воды водных объектов являются ПДК химических веществ. Несмотря на многочисленную критику нормативов ПДК [21, 33, 135, 233, 268], они широко используется в системе экологического нормирования химического загрязнения водных экосистем, оценке качества воды и состояния водных объектов. «В поверхностные водные объекты поступает более 200 тыс. различных веществ и этот список пополняется новыми синтезированными соединениями, в то время как значения ПДК установлены только для 10 % химических веществ» [75, с. 451].

Использование единых универсальных ПДК не позволяет оценить реальное влияние токсикантов на качество воды и экологическое состояние водных объектов, функционирующих в различных природных зонах; соотношение кратности превышения ПДК и длительности воздействия высоких концентраций загрязняющих веществ, а также эффекты влияния на водные организмы отдельных загрязняющих веществ, проявление токсичных свойств которых зависит от гидрохимических условий в водном объекте [75, 135]. При определении ПДК химического вещества не учитывается его региональное фоновое содержание в природных водах. Поэтому использование единых нормативов ПДК при проведении различных прогнозных оценок не всегда корректно в силу завышения или занижения результатов оценки степени загрязненности водной среды [20, 21, 75, 268].

Наряду с традиционным нормированием качества воды возникает необходимость экологического нормирования химического загрязнения водных экосистем, ориентированного не только на поддержание водохозяйственных свойств водного объекта, но и на сохранение водной биоты (биологической системы в целом) [1, 135, 262]. Для этого рядом авторов [21, 33, 110, 152] предлагается разработка экологических ПДК, превышение которых неприемлемо для водной биоты. Однако реакция различных видов и популяции на конкретное загрязняющее вещество будет различной. Поэтому ввести единый экологический норматив в форме ПДК просто невозможно.

В настоящее время в России разработаны различные показатели оценки состояния водных экосистем, которые могут быть использованы в качестве альтернативы единых ПДК. К ним можно отнести экологически допустимые уровни воздействия – метод ЭДУ [79, 109], интегральный индекс экологического состояния – ИИЭС [81, 268], бассейновую допустимую концентрацию – БДК [225], экологически допустимые концентрации [58, 152], «экологические ПДК» [110] и другие.

Метод ЭДУ предполагает «…выделение в пространстве абиотических факторов среды областей нормального функционирования пресноводных экосистем и расчет границ этих областей, которые названы экологически допустимыми уровнями воздействий на экосистему». В качестве достоинства метода можно отметить то, что расчет ЭДУ «основан на реальных измерениях характеристик … рассматриваемого класса природных объектов в различные моменты времени» и дает возможность определить экологическое благополучие экосистемы [109, с. 328].

Левич А.П. с соавторами предлагает использовать многолетние данные мониторинга и устанавливать экологические нормативы «in situ», где «в качестве биоиндикаторов были испытаны показатели видового разнообразия фитопланктонных сообществ» [107, с. 41]. Однако, проведение исследования только по фитопланктону не достаточно, так как это сообщество неоднозначно реагирует на изменение условий в водной экосистеме. Показатели развития фитопланктона более информативны при оценке состояния водохранилищ, для водотоков существенную роль играют другие сообщества водных организмов [138, 145]. Использование данного метода ограничивается также недостаточностью гидробиологической информации по целому ряду водных объектов России.

Подход по расчету интегрального индекса экологического состояния, разработанный сотрудниками Института экологии Волжского бассейна РАН, дает возможность оценить суммарный эффект воздействия загрязнения на сообщества гидробионтов или на экосистему в целом [82, 268]. Авторами предпринята попытка объединения в единой комплексной оценке гидрохимических и гидробиологических показателей. Однако оценка экологического состояния речных систем становится практически невозможна при отсутствии гидробиологической информации.

Концепция регионального экологического нормирования на основе расчета бассейновых допустимых концентраций (БДК) основана на том, что «в каждом отдельно взятом бассейне или его части (водохозяйственный участок) формируется особенный состав воды, свойственный данной водосборной территории и зависящий от природно-климатических условий» [225, с. 17], а «расчет региональных допустимых концентраций осуществляется на основе систематических данных наблюдений в различные экологические сезоны» [225, с. 169]. Авторы считают, что такой подход позволит избежать завышенных или заниженных оценок, поскольку для расчета региональных допустимых концентраций содержание веществ в воде водного объекта определено

при наиболее неблагоприятных эколого-гидрологических ситуациях, обусловленных естественными и антропогенными факторами формирования качества воды [225].

Однако, различные природно-климатические условия и разный гидрохимический состав воды по длине крупных, особенно, сибирских рек, протекающих в районах биогеохимических провинций, где существуют устойчивые природные особенности химического состава воды, не дают возможности установить БДК.

Концепция экологически допустимых концентраций, предложенная Л.И. Цветковой и соавторами, основана на использовании интегрального критерия – соотношения скорости автотрофных и гетеротрофных процессов, т.е. продукции и деструкции органического вещества (цит. по [58]). Такого рода подходы имеют ограничение в использовании, поскольку требуют наличия информации о внутрисистемных процессах и функционировании экосистемы.

Предложенная В.И.Лукьяненко концепция «экологических ПДК», как предельно допустимых колебаний экологических факторов водной среды абиотической и биотической природы, по мнению автора, может охарактеризовать условия экологической нормы или оптимума для водной экосистемы [110].

Для оценки состояния экосистем водотоков, подверженных смешанному органическому и токсическому загрязнению, может быть использован интегральный показатель IP, разработанный Е.В. Балушкиной. Автором сделана попытка обобщить и представить одним числом все множество процессов и факторов развития водных экосистем (цит. по [268]). Использование данного показателя требует значительных теоретических знаний по гидробиологии и широкого перечня наблюдаемых гидробиологических показателей (в гидробиологической информации часто отсутствует информация о детальном видовом составе сообществ).

Достаточно часто встречаются работы, в которых при разработке методики оценки состояния различных природных объектов (систем) используется метод экспертных оценок. Так в работе [2] оценка остроты экологических проблем устанавливается по экспертной шкале, включающей широкий набор показателей, в том числе степень нарушенности состояния экосистем (геокомплексов) по отклонению от фонового состояния.

Все перечисленные и многие другие подходы к оценке качества воды и состояния водных экосистем работают более или менее эффективно в зависимости от задач иссле-

дования. Многие из них требуют наличия подробной информации о состоянии сообществ водных организмов и других гидробиологических данных.

Основные недостатки нормативов ПДК

В настоящее время единственными нормативно-правовыми критериями оценки качества воды водных объектов являются предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ. Несмотря на критику системы ПДК, они сыграли определенную положительную роль при оценке уровня загрязненности водных экосистем и широко используются при сравнении качества воды водных объектов различных регионов страны. По мере углубления наших знаний по особенностям функционирования водных экосистем при усилении антропогенного воздействия и практического использования режимной информации об изменчивости их состояния, стало формироваться мнение о недостаточной адекватности получаемых с использованием ПДК результатов и выводов.

С экологической точки зрения в системе оценки степени загрязненности водных объектов на основе ПДК имеется ряд недостатков, выявленных при практическом ее использовании и подробно изложенных в отечественных публикациях [58, 106-108, 135, 260, 268]. Хотелось бы подчеркнуть наиболее значимые из них.

При разработке нормативов ПДК экспериментально устанавливается степень воздействия загрязняющих веществ на живые организмы и далее результаты эксперимента экстраполируются на популяционный уровень, что методически неверно. Тест-организмы не всегда являются представительными особями для всего гидробиологического сообщества водных организмов экосистемы [91].

При разработке нормативов ПДК также не учитываются явления аддитивности, синергизма и антагонизма различных химических веществ, вредное действие которых при их совместном присутствии может суммироваться (аддитивность), ослабляться (антагонизм) или усиливаться (синергизм). При этом наибольшую опасность для организмов представляет синергическое действие факторов [135, 164].

При определении ПДК в лабораторных условиях не учитываются такие процессы, как аккумуляция загрязняющих веществ различными водными организмами, например водорослями, с последующим высвобождением их во время массового (сезонного) отмирания, миграции и трансформации загрязняющих веществ в водных экосистемах. Эти факты нашли подтверждение в специальных экспериментах [135, 157].

В настоящее время нет четкого понимания, что более губительно для водных экосистем: единичное превышение ПДК токсичного компонента с высокой кратностью превышения (например, в десятки раз) или длительное, хроническое загрязнение с низкой кратностью превышения норматива (до нескольких ПДК). Также исследователи не могут достоверно оценить, в какой мере кратность превышения ПДК и длительность воздействия высоких концентраций загрязняющих веществ влияют на экологическое состояние водных объектов и учесть эффекты влияния на водные организмы отдельных загрязняющих веществ, проявление многих свойств которых зависит от той конкретной гидрохимической ситуации, на фоне которой они проявляются [135]. Так, например, токсические свойства многих тяжелых металлов и алюминия могут значительно меняться в зависимости от температуры, кислотности, окислительно-восстановительных условий и жесткости воды [75, 124, 295, 302].

При определении ПДК конкретного показателя не учитывается его региональный гидрохимический или геохимический фон (фоновое содержание вещества для региона) [135].

Ограничены и прогнозные возможности системы ПДК в силу завышения или занижения результатов оценки. Так, например, прогноз возможного ухудшения состояния водных экосистем с использованием единых ПДК в районах с различными экологическими условиями зачастую весьма неоднозначен [20, 21, 268]. Так, «в отдельных экосистемах фоновые концентрации некоторых показателей на порядок превышают ПДК, но водные организмы адаптированы к ним, и трансформации их структуры и функций не происходит; некоторые химические соединения даже при содержании в воде ниже ПДК могут негативно влиять на отдельные популяции водных организмов» [75, с. 452].

Перечисленные выше и многие другие недостатки подтверждают необоснованность универсальности единых ПДК и обосновывают некорректность их использования при оценке качества воды и состояния водных экосистем для различных природно-климатических зон, различных сезонов года, разных сообществ и их биотопов. Как показано в работе [106] одни и те же значения ПДК загрязняющих веществ экстраполируются «на существенно многовидовые экосистемы, где действуют одновременно сложные комплексы десятков факторов самой разной природы и которые находятся (в отличие от стандартных лабораторных популяций) в совершенно различных фоновых условиях функционирования» [106, с. 12].

Как отмечено в работе Т.И. Моисеенко с соавторами, «несмотря на критику существующих ПДК, они важны для оценки относительной опасности загрязняющих веществ для водных обитателей, вклада различных веществ в общую экотоксикологическую ситуацию» [127, с. 419]. Нормативы ПДК и сегодня остаются важными ориентирами для планирования деятельности, связанной с охраной качества вод от загрязнения [19, 127].

В соответствии со статьей 21 Федерального закона «Об охране окружающей среды» (от 10 февраля 2002 г. № 7-ФЗ с измен.), нормативы качества окружающей среды – это нормативы, установленные в соответствии с физическими, химическими, биологическими и иными показателями «для оценки состояния окружающей среды и в целях сохранения естественных экологических систем…». Разработка нормативов качества воды с учетом природных особенностей водных объектов прописана в статье 35 «Водного кодекса РФ».

Требования по учету природных особенностей водных объектов при разработке нормативов ПДК веществ в воде водоемов рыбохозяйственного назначения «для химических элементов, встречающихся в природных водах отдельных геохимических провинций в относительно повышенных или пониженных концентрациях; а также для техногенных аналогов природных веществ, сброс которых требует учета типа принимающего водного объекта и особенностей водосборной территории» приведены в «Методических указаниях по разработке нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» [120].

В Перечень рыбохозяйственных ПДК начали включать региональные ПДК загрязняющих веществ, имеющих природные аналоги. Одним из первых был утвержден региональный норматив для иона бора в воде водных объектов для Дальневосточного региона (бассейн Японского моря). В настоящее время идет разработка региональных ПДК в районе реки Чусовая, которая находится в геохимической провинции с повышенным содержанием железа и марганца [243].

Еще в 70-80-х годах сотрудниками института гидробиологии Академии наук Украинской ССР были предприняты попытки разработать экологические ПДК. Экологическая классификация водных объектов представлена в «Проекте унифицированной системы для характеристики континентальных водоемов и водотоков». Предлагаются пре-

дельно допустимые экологические концентрации (ПДЭК) для нормирования биогенных элементов (веществ двойного генезиса) в зависимости от трофности водных экосистем [65, 159, 264]. На основе ПДЭК была разработана методика экологической оценки качества поверхностных вод [119], которая рассматривала качество воды по группам показателей (физико-химическим, химическим, экотоксикологическим и др.). Позднее данная экологическая классификация качества поверхностных вод нашла свое применение в количественной оценке экологического риска загрязнения [64] с учетом трофности водного объекта и экологических нормативов.

Как было показано ранее, «в условиях усиления антропогенной нагрузки и темпов использования водных ресурсов надежную информацию об экологическом состоянии водных объектов могут дать методы оценки качества вод по гидробиологическим показателям. Биологические методы, характеризующие качество воды как среды обитания гидробионтов, являются достаточно информативными и позволяют дать интегральную оценку влияния комплекса факторов на сообщества водных организмов» [204, с. 53].

Биологический подход в экологическом нормировании загрязнения водных объектов

Экологическое нормирование химического загрязнения водных экосистем, в первую очередь, связано с определением критериев экологического благополучия экосистемы (характеристик состояния гидробиоценозов, значений абиотических и биотических параметров экосистемы в целом), которые в данном водном объекте должны сохраняться. Иными словами, должны быть разработаны критерии оценки экологического благополучия для всех типов водных объектов.

В России разработаны критерии оценки экологической обстановки территорий [104], где также приведены и критерии отнесения водных объектов или их акваторий к состоянию «экологического благополучия». Трудности при определении критериев экологического благополучия обусловлены сложностью биологических систем, многообразием внутриводоемных процессов и откликов различных сообществ водных организмов на химическое загрязнение среды их обитания. Негативным экологическим эффектом является переход гидробиоценоза в такое состояние, при котором критерии экологического благополучия нарушены.

Эффекты воздействия токсических веществ на разные уровни организации биоты различны [10, 11] и представлены в таблице 12. При действии токсичных загрязняющих

веществ для каждого уровня организации биоценозов выделяют характерные нарушения и специфические механизмы адаптации.

Таблица 12 – Некоторые эффекты воздействия токсичных загрязняющих веществ на разные уровни организации биоты (составлено по [10, 11])

Уровень организации биоты	Эффект воздействия	
	прямой	опосредованный
Организм	Физиологические нарушения, изменения поведения и плодовитости, нарушение развития	Нарушения жизнедеятельности из-за ухудшения условий обитания
Популяция	Изменение структуры, динамики и скорости оборота биомассы	Изменение равновесной плотности популяции, конкурентное вытеснение
Группа конкурирующих популяцмй	Изменение видового состава и видового разнообразия и динамической структуры	Изменение суммарной плотности особей в группе, вытеснение группы из биоценоза
Биоценоз	Изменение продуктивности, упрощение вертикальной структуры	Перестройка биоценоза за счет изменения абиотических условий
Биогеоценоз (экосистема)	Нарушение круговорота веществ, изменение гидрохимических показателей	Определяется ландшафтными изменениями

Существующая система экологического нормирования не учитывает эффекты на тех уровнях организации сообществ, которые лежат выше популяционного [10]. В основе установления ПДК лежат эксперименты с отдельными организмами одного и того же вида. Это позволяет оценить концентрацию загрязняющего вещества, при котором гибнут организм или популяция. Практически невозможно оценить содержание загрязняющих веществ, при котором происходит конкурентное вытеснение видов. Эффекты на уровне экосистемы тем более ещё труднее предсказать.

Биологический анализ имеет решающее значение при решении вопросов, затрагивающих не только качество воды, но и экологическое состояние водоема. Он позволяет

установить степень загрязненности воды органическими веществами (сапробность) или токсическими соединениями, степень трофности водного объекта и оценить состояние гидробиоценозов [121].

Качество водной среды определяет состояние биоты, которая реагирует на любые негативные воздействия. Для адекватного экологического нормирования необходимо не только выбирать наиболее информативные абиотические и биотические характеристики водной экосистемы, но и обязательно учитывать закономерности реакции биоты на изменения среды [121, 269].

В раннее опубликованных работах [153, 154, 193, 206] показана важность совершенствования методологии оценки качества воды и состояния водных объектов с учетом региональных особенностей их функционирования, дано обоснование необходимости разработки региональных критериев оценки состояния водных экосистем. При этом именно биологической оценке отводится первостепенная роль.

Во многих системах мониторинга поверхностных вод крупных стран мира, таких как США, Канада и страны Европы произошел переход от физико-химического контроля на биологический. Именно биологический подход при оценке состояния водных объектов помогает адекватно оценить происходящие в экосистеме изменения. Поскольку отклик сообществ водных организмов отражает совокупное воздействие факторов среды на качество поверхностных вод.

В принятой в 2000 г. Европейской Рамочной Водной Директиве введено понятие «экологическое качество воды», которое должно оцениваться по совокупности гидроморфологических, гидрохимических и гидробиологических данных. Под этим термином понимают структуру и функционирование сообществ водных организмов, которое отражает состояние водных масс. Чем выше «экологическое качество воды», тем большее число различных таксонов и функциональных групп может обитать в водном объекте [287, 288].

Анализ многолетних гидробиологических данных государственной системы наблюдений (ГСН) за состоянием окружающей среды на реках России [138, 149, 196, 200, 201, 203] позволил выделить основные закономерности трансформации структурной организации планктонных и бентосных сообществ водных организмов при усилении антропогенного воздействия (то есть отклик экосистемы). Это, в первую очередь, сезонная и межгодовая изменчивость развития сообществ, пространственная неоднородность

уровня их развития и изменение видового и группового состава со сменой доминирующего комплекса.

Антропогенная трансформация состояния гидробиоценозов проявляется при повышении степени загрязненности водной среды (при усилении антропогенной нагрузки на водные объекты) по (таблица 13):

- бактериопланктону – в расширении диапазонов колебания общей численности сообщества и повышении частоты встречаемости высоких значений показателя (до 15-20 млн. кл/мл) [138, 144, 149];

- зоопланктону – в усилении развития коловраток с тенденцией выхода их на доминирующее положение [138, 144];

- фитоперифитону – в снижении видового разнообразия при усилении роли α-сапробных видов в доминирующем комплексе [138];

- макрозообентосу – в снижении развития или полным отсутствием организмов-индикаторов чистых вод на фоне выхода на доминирующее положение группы олигохет [138, 144, 145].

При этом экологическое состояние речных экосистем, испытывающих сильное антропогенное воздействие, меняется за счет усиления процессов экологического регресса сообществ водных организмов. В зависимости от степени загрязненности водной среды состояние речных экосистем меняется по показателям развития бактерио-, фито- и зоопланктона, макрозообентоса от «антропогенного напряжения с элементами экологического регресса» до «экологического регресса» [175, 182]. Именно поэтому при оценке изменчивости состояния водных экосистем гидробиологические показатели имеют очевидное преимущество, так как являются «интегрирующими» показателями всех изменений за продолжительный период времени и их изменения отражают последствия антропогенного воздействия.

Таким образом, в основу экологического нормирования антропогенного воздействия на водные экосистемы может быть положена методика выделения экологически допустимых уровней воздействия [152].

Таблица 13 – Характерные признаки состояния отдельных сообществ водных организмов при различной антропогенной нагрузке [144, 308]

Сообщество водных организмов	**Уровень антропогенной нагрузки** (по степени загрязненности воды)		
	Умеренный (от «слабо загрязненной» до «загрязненной» и «очень загрязненной»)	**Высокий** (от «очень загрязненной» к «грязной»)	**Очень высокий** (от «грязной» к «очень грязной» и «экстремально грязной»)
Бактериопланктон	Общая численность бактериопланктона до 10 млн.кл/мл. Численность сапрофитной микрофлоры до 4,0 тыс.кл/мл.	Общая численность бактериопланктона до 15,0 млн.кл/мл. Численность сапрофитной микрофлоры до 5,3 тыс.кл/мл.	Общая численность бактериопланктона свыше 20 млн.кл/мл. Численность сапрофитной микрофлоры свыше 7,0 тыс.кл/мл.
Зоопланктон	Индекс сапробности 1,20-1,50. Доминируют о-, о-β- и мезосапробные виды веслоногих, ветвистоусых и прочие.	Индекс сапробности 1,50-2,00. Доминируют о-β, β-мезосапробные виды. Встречаются о- и χ-олигосапробные организмы. Усиливается развитие коловраток.	Индекс сапробности 2,0-2,5. Выход на доминирующее положение коловраток, содоминируют веслоногие и ветвистоусые.
Фитоперифитон	Индекс сапробности до 1,50. Среди массовых видов преобладают χ-, χ-олигосапробные. Доминируют диатомовые.	Индекс сапробности до 1,50-2,00. Среди индиикаторных видов преобладают о-β, β-мезо-сапробные. Присутствуют χ-олиго-сапробные, α-мезосапробные виды. Доминируют диатомовые.	Индекс сапробности 2,30 -2,60. Из индикаторных видов преобладают α-сапробные. Доминируют диатомовые.
Макрозообентос	Постоянное присутствие личинок поденок, ручейников и веснянок – индикаторов чистых вод. Относительная численность олигохет 0-14 %. Общая численность зообентоса менее 1000 экз/м^2. Биотический индекс Вудивисса 7-10.	Организмы-индикаторы чистых вод (личинки поденок или ручейников, изредка бокоплавы) присутствуют единично. Доминируют хирономиды и олигохеты. Относительная численность олигохет 0-80 %, чаще 0-10 %. Биотический индекс Вудивисса от 2 до 9, чаще 5.	Отсутствуют организмы-индикаторы чистых вод. Доминируют олигохеты и хирономиды. Относительная численность олигохет 0-100 %, чаще 40-70 %. Биотический индекс Вудивисса 0-3.

При этом необходимо дифференцированно подходить к разработке научно-методических подходов к оценке состояния водных экосистем и уровня антропогенной нагрузки, выделяя, например, малые и средние реки в пределах водосборов, уникальные экосистемы устьев рек и др. типы водных объектов [177].

Вывод по разделу

Разработкой методологии оценки качества воды и состояния водных объектов и экологического нормирования качества воды занимаются уже многие годы в связи с недостатками нормирования содержания химических веществ по ПДК. Современная проблема состоит не столько в критике этого подхода, сколько в разработке более объективной оценки текущего состояния экосистем и качества водной среды. Запросы практики требуют создания научно обоснованных региональных нормативов качества воды и оценки состояния водных объектов различных широтных зон, находящихся в разных природно-климатических условиях.

Несмотря на большое число разработанных и применяемых в России и за рубежом классификационных схем оценивания качества вод и состояния водных объектов, ни одна из них не может быть признана полностью совершенной и применимой к водным объектам, расположенным в различных природных зонах ЕЧР с различными природно-климатическими, гидрологическими условиями, видами землепользования и антропогенной деятельности.

Вопросы оценки качества воды и состояния водных экосистем непосредственно связаны с проблемами экологического нормирования химического загрязнения и оценки антропогенной нагрузки на экосистемы в целях поддержания их природного разнообразия, сохранения структуры и устойчивого функционирования экосистем. Контроль за состоянием качества поверхностных вод важен для разработки эффективных мер по рациональному использованию и управлению качеством водных ресурсов. Такие решения должны основываться на научно обоснованной оценке современного состояния водных объектов и выявлении основных тенденций в изменении качества водных ресурсов.

2.3 Концептуальная схема (алгоритм) комплексной оценки качества воды с учетом региональных фоновых характеристик

В основу разработки концептуальной схемы комплексной оценки качества воды и состояния участков рек легли результаты многолетних исследований химического состава и качества воды рек Европейской части России, проводимых в рамках работы в Гидрохимическим институте (при обработке многолетней гидрохимической и гидробиологической информации Росгидромета), на кафедре геоэкологии и прикладной геохимии Института наук о Земле ЮФУ (при выполнении исследований в рамках гранта РНФ № 14-17-00376 «Интегральная оценка и прогноз состояния водных ресурсов и их качества в пределах техногенно нарушенных геосистем углепромышленных территорий на основе комплексных геохимических, геофизических и экотоксикологических исследований» (2014-2016 гг.) и инициативных научно-исследовательских и экспедиционных работ), а также при выполнении исследований по гранту РНФ № 17-17-01262 «Анализ пространственно-временных изменений качества водных ресурсов Европейской части России, динамика их состава и загрязнений за последние 50 лет под влиянием нестационарного климата и хозяйственной деятельности на водосборах» (2017-2019 гг.).

При разработке концептуальной схемы комплексной оценки качества воды с учетом региональных фоновых характеристик реализованы следующие этапы:

1) выбор необходимых и достаточных показателей, описывающих химический состав и качество воды, экологическое состояние водных экосистем;

2) определение набора градаций, классов и т.п., отражающих качество воды и состояние участка реки (использована пяти-классовая шкала состояния окружающей среды по степени нарушенности человеком (согласно Н.Ф. Реймерсу [184]): «естественное – равновесное – напряженное – критическое и катастрофическое» совместимая с пяти-классовой шкалой комплексной оценки качества воды по гидрохимическим показателям по расчетному индексу УКИЗВ);

3) нахождение диапазонов изменения показателей соответствующих выбранным классам или градациям (на основе сопряженного анализа гидрохимических, гидробиологических и других характеристик водных систем в многолетнем аспекте);

4) выполнение обобщения результатов оценки (суммарная балльная оценка) для классификации состояния водных объектов (участков рек), оценки качества речных вод, районирования территории речного бассейна и т.п.

Предлагаемая концептуальная схема комплексной оценки качества воды и состояния участков рек с учетом региональных фоновых характеристик позволяет не только оценивать качество воды и состояние участков рек по отдельным показателям (гидрохимическим, гидробиологическим, геохимическим и др.), но и комплексно на основе балльного подхода.

Обоснование выбора основные показателей оценки качества воды и состояния участков рек

Основная задача при выборе основных показателей оценки качества воды и состояния речных экосистем состоит в том, чтобы на фоне естественных перестроек структуры экосистемы, связанных с явлениями природного характера, выделить наиболее информативные показатели и определить критерии их изменчивости во взаимосвязи с уровнем антропогенного воздействия [203]. С позиции экосистемного подхода оценку качества воды рекомендуют проводить с включением комплекса показателей состояния абиотической и биотической компоненты. В качестве интегральных показателей состояния водной среды речных участков предлагается использование двух интегральных гидрохимических показателей из методики приведенной в рекомендациях [175, 176], а именно – содержание азота аммонийного и легкоокисляемых органических веществ (по показателю $БПК_5$). Эти параметры отражают всю совокупность внутриводоемные процессы, являются их результирующим откликом и взаимосвязаны с уровнем антропогенной нагрузки на систему.

Необходимо выявить возможные изменения состояния водной экосистемы и определить критерии этих изменений можно на основе анализа многолетней изменчивости абиотических и биотических информативных показателей, характеризующих трансформацию компонентного состава водной среды и структурно-функциональной организации сообществ водных организмов [203].

В раннее опубликованных работах [153, 154, 193, 308] показана важность совершенствования методологии оценки качества воды и состояния водных объектов с учетом региональных особенностей их функционирования. Дано обоснование необхо-

димости разработки региональных критериев оценки состояния водных экосистем. При этом именно биологической оценке отводится первостепенная роль.

Во многих системах мониторинга поверхностных вод крупных стран мира, таких как США, Канада и страны Европы произошел переход от физико-химического контроля на биологический. Именно биологический подход при оценке состояния водных объектов помогает адекватно оценить происходящие в экосистеме изменения. Поскольку отклик сообществ водных организмов отражает совокупное воздействие факторов среды на качество поверхностных вод.

При этом экологическое состояние речных систем, испытывающих сильное антропогенное воздействие, изменяется за счет усиления процессов экологического регресса сообществ водных организмов. В зависимости от степени загрязненности водной среды состояние речных экосистем меняется по показателям развития бактерио-, фито- и зоопланктона, макрозообентоса от «антропогенного напряжения с элементами экологического регресса» до «экологического регресса» [144, 145, 175, 176, 182]. Именно поэтому при оценке изменчивости состояния водных экосистем гидробиологические показатели имеют очевидное преимущество, так как являются «интегрирующими» показателями всех изменений за продолжительный период времени и их изменения отражают последствия антропогенного воздействия.

Ранее было показано, что при совершенствовании методических подходов к оценке качества воды и состояния водных экосистем предпочтение следует отдавать использованию ***экологических (региональных) нормативов или фоновых значений содержания веществ***, учитывающих природно-климатические особенности водосборов рек [277].

С учетом всего выше сказанного, в концептуальную схему комплексной оценки качества воды и состояния участков рек включены:

1) ***гидрохимические показатели:*** основные показатели качества воды, используемые при расчетах УКИЗВ и оценке степени загрязненности воды [183], и интегральные гидрохимические показатели (содержание азота аммонийного и ЛОВ (по $БПК_5$)), отражающие совокупное состояние абиотической компоненты водной экосистемы [175, 176];

2) ***гидробиологические показатели:*** общая численность бактериопланктона, фитопланктона и макрозообентоса; относительная численность группы олигохет в составе бентоса, число видов фитопланктона и др. [181, 182];

3) ***геохимический показатель:*** суммарный показатель загрязнения донных отложений (Zc), характеризующий состояние донных отложений и уровень загрязненности водной среды [229, 273], суммарный показатель загрязнения воды (Zc вода) [75].

4) ***экотоксикологический показатель:*** показатель степени токсичности воды и/или донных отложений, характеризующий общее токсическое воздействие загрязняющих веществ на гидробионты [12, 13, 75].

Алгоритм концептуальной схемы комплексной оценки качества воды и состояния участков рек

В основу комплексной оценки качества воды и состояния речных участков положены балльный подход к оценке (по отдельным показателям и в сумме) и принцип комплексности. При этом оценка должна проводиться с учетом трех положений [271]:

- показатели качества воды и состояния водного объекта должны быть, с одной стороны, типичными для всех исследуемых водных объектов (участков рек, водоемов, водотоков и т.п.) вне зависимости от их географического положения, а с другой – отражать эффект воздействия неблагоприятных факторов;

- все этапы оценки по отдельным показателям (гидрохимическим, гидробиологическим, геохимическим и экотоксикологическим) должны быть проведены на основе единого подхода – балльной оценки;

- при прочих равных условиях более напряженным в экологическом отношении будет считаться водная система (водный объект, участок реки и т.п.), где отмечается более худшее качество воды по состоянию биоценозов (по гидробиологически показателям).

Концептуальная схема проведения комплексной оценки качества воды и состояния водной среды участка реки (или речного бассейна) по комплексу показателей представлена на рисунке 4. В зависимости от целей и задач исследования комплексная оценка качества воды и состояния речной системы может быть проведена как для отдельного участка реки, так и для нескольких участков рек в пределах бассейна (с учетом бассейнового принципа). Обобщение результатов оценки для отдельных участков рек в пределах речного бассейна позволит оценить его состояние с точки зрения качества воды по

гидрохимическим и гидробиологическим показателям, уровня загрязненности воды и донных отложений, токсичности и других характеристик (реализация экосистемного подхода).



Рисунок 4 – Концептуальная блок-схема проведения комплексной оценки качества воды и состояния водной среды участка реки или речного бассейна

(обозначения на схеме: УКИЗВ – удельный комбинаторный индекс загрязненности воды, ИС – индекс сапробности (по фито- или зоопланктону), БИ – биотический индекс (по макрозообентосу), ДО – донные отложения, ЗВ – загрязняющие вещества)

Блок «Сбор первичных данных» предполагает сбор и сводку многолетних гидрохимических, гидробиологических, геохимических и экотоксикологических данных из различных источников: архивных и фондовых материалов, режимно-справочных и научных изданий. Эти данные формируют исходный массив данных для проведения комплексной оценки качества воды и состояния водного объекта.

Блок «Сбор дополнительных данных» предполагает сбор данных, характеризующих специфику антропогенного воздействия на водосборе (основные источники загрязнения водных объектов на водосборе, виды природопользования в бассейне, осо-

бенности водопользования на отдельных участках рек и др.) и региональные природно-климатические особенности, обусловливающие формирование химического состава и качества воды (водность рек, количество атмосферных осадков на водосборе, температурные тренды воды и воздуха, особенности почвенного покрова и др.).

Важной частью является ***определение фоновых характеристик речных вод и донных отложений***. Фоновые концентрации могут быть получены экспериментально путем отбора проб в фоновых створах и последующего химического анализа проб воды и донных отложений. Также за фоновые концентрации могут быть приняты усредненные (средние статистические) значения, характеризовавшие объект исследования в период предшествующий активному антропогенному воздействию – за период до 80-х годов прошлого века.

Сведения об основных источниках загрязнения речных вод необходимы для формирования перечня загрязняющих веществ, характерных для конкретного участка реки, бассейна реки и т.п. Именно по этим веществам необходимо в первую очередь проводить исследования.

В случаях, когда нет сведений о фоновых концентрациях веществ в воде и донных отложениях исследуемого речного бассейна, могут использоваться соответствующие нормативы ПДК. Сведения о видах водопользования в речном бассейне, на отдельных участках рек используются для выбора нормативов, по которым будет проведена далее комплексная оценка качества воды. Если водный объект имеет статус объекта рыбохозяйственного, питьевого или хозяйственно-бытового использования, то для оценки необходимо использовать соответствующие ПДК.

Блок «Покомпонентная и комплексная оценка» детально был представлен выше. Важно отметить, что для более полной и корректной оценки качества воды и состояния участка реки желательно использование всех составляющих.

Дальнейшее практическое использование полученных результатов оценки качества воды и состояния водного объекта (реки или участка реки) состоит в выявлении экологически неблагополучных участков в пределах речного бассейна, в составлении кратковременного прогноза изменения качества воды, что, в свою очередь, может быть использовано заинтересованными структурами в области водопользования и управления качеством поверхностных вод для обоснования необходимости проведения водоохранных мероприятий.

Алгоритм комплексной оценки качества воды и состояния водной среды речных участков (или бассейна реки) с учетом региональных особенностей

Оценка проводится в следующей последовательности.

1. Балльная оценка качества воды и состояния водной среды участков рек по гидрохимическим показателям

Оценка качества воды на участках рек может быть выполнена по основным гидрохимическим показателям с использованием традиционной комплексной методики [182] или по интегральным гидрохимическим показателям [211].

Для оценки качества воды и состояния участков рек используют такие интегральные гидрохимические показатели, как содержание азота аммонийного и легкоокисляемых органических веществ (ЛОВ по $БПК_5$), отражающие совокупность протекающих в водной системе физико-химических и химико-биологических процессов и являющиеся результирующими внутриводоёмных процессов [175, 176, 211].

Шкала оценки качества воды традиционно состоит из пяти классов от I-го «условно чистых» вод до V-го («экстремально грязных»). Каждому классу качества поставлена в соответствие категория состояния системы от «естественного» до «катастрофического». Классификатор оценки качества воды и состояния речных участков по гидрохимическим показателям приведен в таблице 14.

2. Балльная оценка качества воды и состояния участков рек по гидробиологическим показателям

Для оценки качества воды и состояния речных участков по гидробиологическим показателям используются наиболее информативные показатели развития биоценозов – общая численность, число видов, доля индикаторных видов, наиболее чувствительных к повышению уровня загрязненности водной среды. Каждому классу качества поставлена в соответствие категория состояния экосистемы по уровню экологического регресса от «экологического благополучия» (что соответствует «естественному») до «метаболического регресса» (что соответствует градации «катастрофического» состояния экосистемы). Классификатор качества воды и оценки состояния водной среды участков рек по гидробиологическим показателям приведен в таблице 15.

Таблица 14 – Классификатор оценки качества воды и состояния водной среды речных участков по гидрохимическим показателям (составлено по [175, 176, 211])

Класс качества воды	Состояние водной среды	Модальный интервал значений*	
		ЛОВ по $БПК_5$, мг/дм^3 O_2	аммонийного азота, мг/ дм^3
I	Естественное	0,50-1,00	менее 0,10
II	Равновесное	1,01-2,00	0,11- 0,40
III	Напряженное	2,01-4,00	0,41 до 1,00
IV	Критическое	4,01-7,00	1,10 до 3,00
V	Катастрофическое	свыше 7,00	свыше 3,00
Примечание: *интервал наиболее часто встречаемых значений показателя.			

3. Балльная оценка качества воды и состояния участков рек по состоянию донных отложений (по геохимическим показателям)

Для оценки качества воды, уровня загрязнения речных вод и донных отложений (ДО), для геохимической оценки состояния участка реки в целом предлагается использовать суммарный показатель загрязнения донных отложений (Zc), широко используемым в России [67, 75, 229, 273] и суммарный показатель загрязненности воды (Zc вода) с учетом превышений фоновых (региональных) характеристик, рассчитываемый по аналогии с Zc, характеризующий уровня загрязненности водных систем [75].

Градации уровня загрязнения речных вод приняты в соответствии с ориентировочной шкалой оценки для донных отложений (а именно: «слабый», «средний», «высокий» и «очень высокий»), градации качества воды и состояния речных участков аналогичны категориям в выше приведенном классификаторе – от «естественного» до «катастрофического» (см. таблицу 14).

Таблица 15 – Классификатор качества воды и состояния водных объектов по уровню экологического регресса (составлено по [175, 176, 182])

Класс качества воды	Состояние системы по уровню экологического регресса (состояние участка реки)	Модальный интервал значений				
		ОЧ бактерио-планктона, млн.кл./мл	ОЧ макро-зообентоса, тыс.экз./м^2	доля олигохет, %	ОЧ фито-планктона, тыс.кл./мл	Число видов фитопланктона
I	Экологическое благополучие (естественное)	менее 1,0	1,0–8,5	До 10	Нет ограничений	30–50
II	Антропогенное напряжение с элементами экологического регресса (равновесное)	1,0–4,0	1,0–8,5	10–30	Нет ограничений	20–40
III	Элементы экологического регресса (напряженное)	4,0–20,0	0,10–30,0	30–50	0,10–5,0	15–20
IV	Экологический регресс (критическое)	20,0–40,0	0,01–10,0	50–100	0,01–0,70	10–15
V	Метаболический регресс (катастрофическое)	свыше 40,0	Частичная или полная гибель зообентоса		Частичная или полная гибель	<10

На основе большого массива гидрохимических и геохимических данных, полученных при выполнении гранта РНФ № 14-17-00376, проведены расчет и анализ значений Zc для речных вод в бассейнах Северского Донца и Тузлова, что позволило выделить следующие уровни загрязненности и определить диапазоны изменения суммарного показателя загрязнения для поверхностных вод [75, 207]:

- Zc ≤ 2 – «условно чистая» вода;
- Zc = 2-10 – «слабый уровень загрязнения»;
- Zc = 11-30 – «средний уровень загрязнения»;
- Zc =31-50 – «сильный уровень загрязнения»;
- Zc > 50 – «очень сильный уровень загрязнения».

Далее соответствующим диапазонам значений Zc присвоены классы качества воды (от I до V) и дана словесная характеристика качества вод по загрязнению в диапазоне от «условно чистых» (I -й класс качеств) до «очень сильно загрязненных» (V -й класс) (таблица 16).

Суммарный показатель загрязнения донных отложений (Zc) и воды (Zc вода) представляет собой сумму коэффициентов концентрации (Kc) металлов (токсикантов или загрязнителей) по отношению к фоновым значениям [75] и рассчитывается по формуле (11) [229]:

$$Z_c = \sum_{i=1}^{n} K_c - (n-1) \qquad (11)$$

где Kc – коэффициент концентрации i-го химического элемента, n – число, равное количеству элементов, входящих в геохимическую ассоциацию.

Коэффициент концентрации (Kc) рассчитывается по формуле (12) [229]:

$$Kc = C_i/C_{фон},$$

где C_i – фактическое содержание элемента; $C_{фон}$ – геохимический фон (фоновое содержание, среднее статистическое и т.п.).

Таблица 16 – Классификатор оценки качества воды и состояния речных экосистем по загрязненности воды и донных отложений (фрагмент таблицы из [75])

Класс качества воды	Уровень загрязнения (по [272])	Суммарный показатель загрязнения (Zc)		Содержание химических элементов в водной среде [272]	Состояние
		донных отложений	водной среды		
I	Слабый	Менее 10,0	Менее 2,0	Большинство в пределах фона	Естественное
II	Средний	10,1-30,0	2,1-10,0	Многие повышены относительно фона, некоторые эпизодически достигают ПДК	Равновесное
III	Высокий	30,1-100,0	10,1-30,0	Многие выше фона, некоторые превышают ПДК	Напряженное
IV	Очень высокий	100,1-300,0	30,1-50,0	Многие значительно выше фона, некоторые стабильно превышают ПДК	Критическое
V	Чрезвычайно высокий	Свыше 300	Свыше 50,0	Большинство во много раз выше фона, многие стабильно превышают ПДК	Катастрофическое

4. Балльная оценка качества воды и состояния речных экосистем по степени токсичности воды

Как уже было сказано выше, именно биологической составляющей в комплексной оценке качества воды и состояния водных объектов, отдается предпочтение во многих методиках. В работе Е.Н. Бакаевой отмечается, что «биотическая составляющая экосистем является базовой в изучении формирования и восстановления качества вод в условиях антропогенной нагрузки. Только биота может дать ответ о токсичности компонентов водной экосистемы, поскольку токсичность – характеристика биологическая. В настоящее время оценка токсичности пресноводных экосистем включена в число обязательных характеристик экологического состояния водных объектов многих странах. Однако биотестирование даёт ответ об общей токсичности вод без идентификации загрязняющих веществ. Качественный и количественный состав загрязняющих веществ определяют только аналитическими химическими методами» [75, с. 452].

Для разработки шкалы интегральной оценки качества вод с учётом степени токсичности и загрязненности водной среды [75] использованы результаты исследований по гранту РНФ № 14-17-00376 «Интегральная оценка и прогноз состояния водных ресурсов и их качества в пределах техногенно нарушенных геосистем углепромышленных территорий на основе комплексных геохимических, геофизических и экотоксикологических исследований» (2014-2016 гг.), выполненного сотрудниками кафедры геоэкологии и прикладной геохимии Южного федерального университета.

Были обследованы более 30 речных участков на 15 реках степной зоны в бассейнах Северского Донца и Тузлова в ходе полевых экспедиционных исследований в период с 2014 по 2016 год. Исследованы участки рек выше и ниже влияния источников загрязнения речных вод – угольных шах и др. объектов угольной отрасли. Были отобраны пробы речных вод на химический, гидробиологический и токсикологический анализ, а также донные отложения – на геохимический и токсикологический анализ.

Для оценки степени токсичности поверхностных вод и донных отложений исследуемых рек д.б.н. Е.Н. Бакаевой и аспиранткой М.Н. Тарадайко были выполнены биотестовые анализы на токсичность с использованием как минимум трёх биотестов [12, 13]. «Итоговую оценку токсичности вод рекомендовано проводить по тест-объекту (или тест-показателю), проявившему наибольшую чувствительность. Такой способ оценки выявляет наиболее слабое звено в экосистеме, например, автотрофы, фильтраторы из гетеротрофов, или один из двух использованных близкородственных видов (хлорелла и сценедесмус – представители фитопланктона)» [75, с. 455].

«Следует подчеркнуть, что в таком случае неучтённой остаётся важная информация по двум другим биотестам, отличная от слабого звена, но которую также необходимо принимать во внимание» [75, с. 456]. В связи с этим в разработанной д.б.н. Е.Н. Бакаевой в рамках выполнения гранта РНФ шкале оценки токсичности вод включены результаты токсикологических исследований с учётом данных трёх биотестов (таблица 17). Степень токсичности вод характеризуется словесно в диапазоне от «условно нетоксичной» до «экстремально токсичной» [75].

Таблица 17 – Шкала оценки качества воды и состояния речных участков с учётом степени токсичности водной среды (фрагмент таблицы из [75], шкала разработана д.б.н. Е.Н. Бакаевой)

№	Варианты сочетаний выявленной степени токсичности вод по трём биотестам	Токсичность вод по трём биотестам		Качество воды (класс качества)	Состояние
		класс качества	степень токсичности вод		
1	3 нет ТД	1	условно нетоксичные	очень хорошее (1)	Естественное
2	2 нет ТД + 1ХТД	2а	слабо токсичные	хорошее (2)	Равновесное
	1 нет ТД + 2 ХТД	2б			
3	2-3 пОТД	3а	токсичные	среднее (3)	Напряженное
	1 ОТД	3б			
4	1 пОТД + 2 ОТД	4а	очень токсичные	плохое (4)	Критическое
	2 пОТД+1ОТД	4б			
5	3 ОТД	5	экстремально токсичные	очень плохое (5)	Катастрофическое
Примечания: ТД – токсическое действие, ХТД – хроническое токсической действие, пОТД – подострое токсическое действие, ОТД – острое токсическое действие.					

Сопоставление результатов оценки уровня загрязненности речных вод по геохимическим показателям и степени токсичности воды позволило разработать шкалу комплексной оценки состояния и качества воды по этим показателям (см. таблицы 16 и 17). «В случае несовпадения классов по химическим и биотестовым данным следует учитывать, во-первых, что аналитический анализ не способен охватить весь спектр загрязняющих веществ, содержащихся в речной воде; во-вторых, для живых объектов важны не только концентрации токсикантов, но их биодоступность» [75, с. 456]. Поэтому итоговую оценку качества воды при высокой степени загрязнения химическими веществами и низкой степени токсичности воды или донных отложений (или наоборот) необходимо анализировать с учетом биодоступности загрязняющих веществ, то есть с учетом геохимической обстановки в водной среде.

Таким образом, впервые на основе данных комплексных гидрохимических и экотоксикологических исследований предложена шкала интегральной оценки качества воды и состояния участков рек с учетом региональных особенностей [75].

5. Итоговая обобщенная оценка качества воды и состояния речных участков по комплексу показателей

Для итоговой обобщенной оценки качества воды и состояния водной среды участка реки сначала проводится балльная оценка по всем показателям: гидрохимическим, гидробиологическим, геохимическим и экотоксикологическим. Критерии балльной оценки по отдельным показателям приведены в таблице 18. Далее рассчитывается средний балл и проводится итоговая оценка качества воды и состояния водной среды участка реки по комплексу показателей согласно критериям, приведенным в таблице 19.

Таблица 18 – Баллы для комплексной оценки качества воды и состояния водной среды участка реки по отдельным показателям

Качество воды по гидрохимическим показателям	Балл	Степень токсичности воды	Балл
1-й класс качества	1	Условно нетоксичная	1
2-й класс качества	2	Слабо токсичная	2
3-й класс качества	3	Токсичная	3
4-й класс качества	4	Очень токсичная	4
5-й класс качества	5	Чрезвычайно токсичная	5
Уровень загрязнения речной воды по геохимическим показателям	Балл	Состояние экосистемы по гидробиологическим показателям	Балл
Слабый	1	Естественное	1
Средний	2	Равновесное	2
Высокий	3	Напряженное	3
Очень высокий	4	Критическое	4
Чрезвычайно высокий	5	Катастрофическое	5

Таблица 19 – Шкала оценки качества воды и состояния участка реки по комплексу показателей

Средний балл	Качество воды	Состояние водной среды
от 1,0 до 1,5	I – условно чистая	естественное
свыше 1,5 до 2,0	II – слабо загрязненная	равновесное
свыше 2,0 до 3,0	III - загрязненная	напряженное
свыше 3,0 до 4,0	IV – грязная и очень грязная	критическое
свыше 4,0 до 5,0	V – экстремально грязная	катастрофическое

Полученные таким образом результаты комплексной оценки качества воды и состояния речных участков на конкретном водосборе могут быть в дальнейшем использованы для оценки степени экологической напряженности данной территорий с учетом плотности населения, для анализа региональных экологических рисков степных территорий [131], устойчивости речных экосистем, оценки гидроэкологического риска и др. [161, 223], также результаты комплексной оценки качества воды являются одним из базовых компонентов при интегральной оценке устойчивости и экологического благополучия водных объектов [171].

Результаты оценки качества воды и состояния участков рек на водосборе представляют собой предварительную оценку экологической обстановки, так как не позволяют в полной мере судить о степени опасности и уровне гидроэкологического риска для здоровья населения, при использовании воды плохого качества.

В работе В.Е. Закруткина с соавторами [67] на основе данных о качестве воды и уровне загрязненности донных отложений изучена проблема вторичного загрязнения воды рек соединениями металлов. Проведено ранжирование рек Нижнего Дона (притоки Северского Донца и Тузлова) по степени опасности их вторичного загрязнения и негативного воздействия на качество воды. Выявлены экологически напряженные участки рек на водосборах и установлено, что большая часть рек характеризуется средним и низким уровнями потенциального негативного воздействия на водную среду.

Прогнозирование качества воды и состояния водных объектов может быть условно выполнено на основе многолетних данных о степени загрязненности воды и результатах оценки гидроэкологического риска. Хозяйственное освоение речных водосборов и активное использование воды рек связано с определенной степенью вероятного ущерба (возможного ухудшения качества воды при интенсивном использовании, загрязнении воды сточными водами, увеличении водопотребления, росте населения и др.). Таким образом, формируется гидроэкологический риск, уровень которого будет выше в пределах того бассейна реки, в котором выше плотность населения, больше источников загрязнения и т.п. Качество воды водных объектов, используемых в качестве источников питьевого водоснабжения, значительно влияет на здоровье населения. Соответственно, чем выше степень загрязненности речных вод (ниже качество воды) и выше плотность населения в пределах бассейна, тем выше вероятность негативного воздействия для здоровью населения – выше гидроэкологический риск [43, 223].

Так в работе [232] приведены результаты оценки гидроэкологического риска в бассейне реки Ока на основе анализа многолетних данных значений УКИЗВ и статистических данных о плотности населения. Это позволило районировать территорию бассейна р. Оки по уровню гидроэкологического риска и степени напряженности гидроэкологической ситуации на территории (рисунок 5).

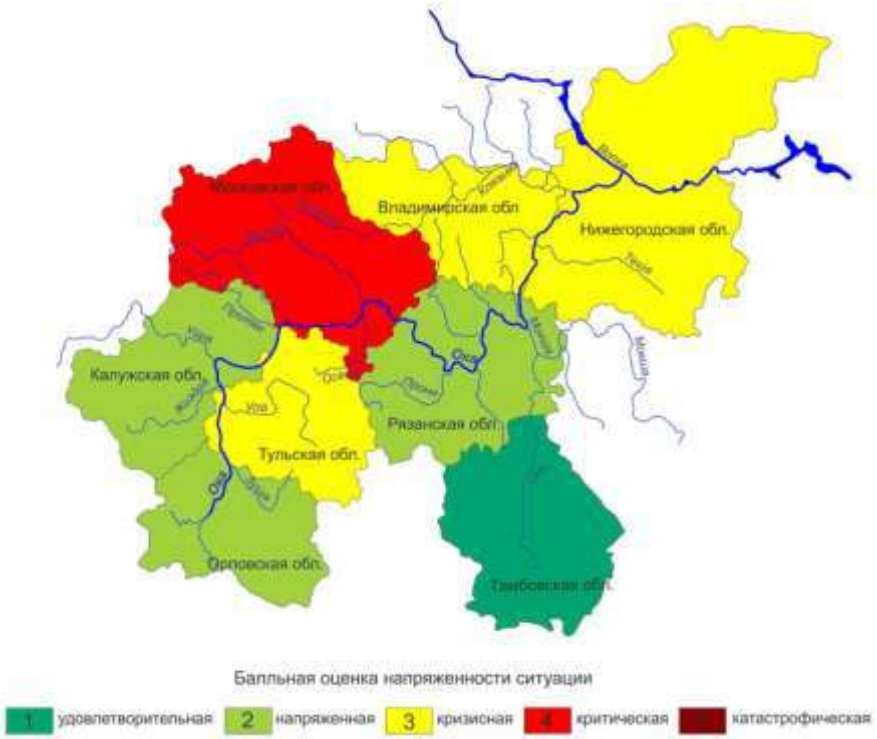


Рисунок 5 – Картосхема районирования бассейна р. Оки по степени напряженности гидроэкологической ситуации [223]

Таким образом, чем выше уровень гидроэкологического риска и степень напряженности гидроэкологической ситуации, тем выше вероятность ухудшения качества воды (прогноз на ухудшение качества воды) и, наоборот, при удовлетворительной гидроэкологической ситуации в пределах водосбора можно прогнозировать стабилизацию или улучшение качества воды. Результаты такой оценки и ориентировочного прогноза могут использоваться для обоснования необходимости проведения водоохранных мероприятий в речных бассейнах ЕЧР.

ГЛАВА 3 РЕЧНЫЕ ВОДЫ ЗОН ТУНДРЫ И ЛЕСОТУНДРЫ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Методические подходы к оценке тенденций изменчивости концентраций химических веществ в речных водах

Выявленная ранее пространственная неоднородность концентраций химических веществ в речных водах различных физико-географических провинций в пределах ЕЧР [50, 93, 192, 202, 212, 217] обусловливает важность и необходимость изучения многолетних тенденций изменчивости концентраций химических веществ. Статистический анализ гидрохимических данных (расчет коэффициентов корреляции для выявления тенденций) выполнен совместно с коллегами лаборатории дистанционных и химико-биологических методов наблюдений за состоянием и загрязнением водных объектов Гидрохимического института к.х.н. Л.С. Косменко, к.б.н. А.О. Даниленко и к.б.н. М.Ю. Кондаковой. Дальнейший анализ и интерпретация данных проведена соискателем самостоятельно для реализации задач данного исследования. Отдельные совместные результаты исследования с коллегами опубликованы в научных журналах и сборниках конференций [50, 97, 192, 194, 202, 212, 217].

Как было показано нами ранее, «важным этапом анализа временных рядов гидрохимических данных является исследование закономерностей трансформации компонентного состава водной среды, то есть обнаружение и характеристика основной тенденции содержания исследуемого компонента в водной среде» [215, с. 88]. «Появление основной тенденции в продолжительном временном ряду гидрохимических данных может быть обусловлено действием ряда факторов, неоднородных по силе и направлению воздействия на компонентный состав. В общем виде эти факторы можно разделить на глобальные, вызывающие однонаправленные изменения на обширных территориях, и локальные, действующие на отдельные водные объекты или небольшие группы территориально близко расположенных водных объектов » [215, с. 88].

Анализ закономерностей временного ряда данных о концентрациях химических веществ целесообразно начинать с выявления наличия тенденции в целом. Для этой цели наиболее эффективен корреляционный анализ. «Для количественной оценки основных тенденций временной изменчивости гидрохимических показателей за 30-летний период был рассчитан ранговый коэффициент корреляции Кендалла, характеризующий меру линейной связи между датой отбора и концентрацией вещества

в пробе» [215, с. 88]. Применение непараметрического рангового коэффициента корреляции обусловлено использованием выборок гидрохимических данных, не подчиняющихся гауссовому распределению. При этом если исходные данные имеют симметричное распределение, то коэффициенты ранговой корреляции близки к аналогичным значениям коэффициентов Пирсона.

«Для расчетов ранговых коэффициентов корреляции и уровня доверительной вероятности, при котором эти коэффициенты могут считаться статистически значимыми, был использован программный пакет Statistica v 13.3. В качестве независимой переменной выступали данные о дате отбора проб (день, месяц и год отбора), ранжированные в порядке возрастания, в качестве зависимой переменной – данные о концентрациях соответствующих веществ, измеренных в день этого отбора. Наличие статистически значимой прямой связи говорит о том, что более старым датам соответствуют более низкие концентрации вещества в пробах, при обратной связи более старым датам соответствуют более высокие концентрации. Соответственно, отрицательная величина рангового коэффициента корреляции указывает на постепенное снижение во времени (за 30 лет) уровней вариационного ряда концентраций, положительная – об их постепенном возрастании» [215, с. 88].

Оценку тесноты корреляционной связи проводят по модулю значения коэффициента корреляции (r) по одной из многочисленных шкал. Наиболее распространенной является шкала Чеддока, разработанная для коэффициента линейной корреляции Пирсона, но впоследствии адаптированная и для непараметрического коэффициента корреляции Кендала [98].

Учитывая неравномерность сроков отбора проб и сильную внутригодовую вариацию концентраций химических веществ, а также используя принцип разбивки диапазона значений r от 0 до 1,0 на равные отрезки, предложенный в работе Власова В.В. (цит. по [98]), трактовка тесноты связи по линейному коэффициенту корреляции осуществлялась по следующим критериям [215]: $0{,}10 \leq r < 0{,}25$ – связь слабая; $0{,}25 \leq r < 0{,}50$ – связь средняя (умеренная); $0{,}50 \leq r < 0{,}75$ – связь сильная (тесная); $0{,}75 \leq r < 1{,}00$ – очень сильная связь. При $r < 0{,}10$ связь должна считаться отсутствующей [98].

Применение корреляционного анализа обоснованно тем, что это хороший оценочный метод для предварительной оценки направленности временных тенденций изменений химического состава и качества воды рек. В силу значительной вариабельности

гидрологических и гидрохимических данных, влияния на состав речных вод множества природных и антропогенных факторов и процессов, ожидать высокую линейную зависимость нельзя. Поэтому линейные тренды даже умеренной силы являются статистически значимыми для природных вод.

3.1 Тенденции изменчивости химического состава речных вод

В зонах тундры и лесотундры располагается две физико-географические провинции, в пределах которых находятся 8 исследуемых рек (9 пунктов наблюдений): в Северо-Кольской провинции – реки Териберка, Печенга и Ура, в Малоземельско-Большеземельской провинции – реки Печора, Уса, Колва, Адзьва и Сула.

Для выявления тенденций изменчивости содержания какого-либо химического вещества в речных водах были рассчитаны значения рангового коэффициента корреляции Кендалла между датами отбора проб и измеренными в эти дни концентрациями веществ или ионов. Значения рангового коэффициента корреляции Кендалла для концентраций главных ионов (магния, кальция, хлоридов, сульфатов и гидрокарбонатов) в речных водах зон тундры и лесотундры ЕЧР приведены в таблице 20, для концентраций соединений азота, растворенного кислорода и органических веществ – в таблице 21 и для концентраций растворенных форм тяжелых металлов – в таблице 22.

Главные ионы. Из числа обнаруженных (21) статистически значимых тенденций преобладают возрастающие для гидрокарбонатов (6 тенденций) и убывающие для хлоридов (4 тенденции). Для сульфатов 4 тенденции из 6 – убывающие и 2 – возрастающие. Отсутствие тенденций концентраций магния и кальция характерно для большинства речных участков (78 %) исследуемой природной зоны. Выявлены две возрастающие тенденции по магнию (рр. Печенга и Уса) и по одной возрастающей (р. Печенга) и убывающей (р. Печора) по кальцию (таблица 20).

Биогенные и органические вещества. Из числа обнаруженных статистически значимых тенденций преобладают возрастающие для азота нитратного (6 тенденций) и убывающие для азота аммонийного (5 тенденций). Все обнаруженные закономерности по изменчивости концентраций органических веществ – это убывающие тренды. По нефтепродуктам выявленные 5 тенденций – убывающие и 3 – возрастающие. Отсутствие тенденций в изменении концентраций кислорода в воде характерно для большинства речных участков (89 %) исследуемой природной зоны (таблица 21).

Таблица 20 – Значения коэффициента корреляции для концентраций главных ионов в речных водах зон тундры и лесотундры ЕЧР (составлено по [178, 215])

Номер*	Река	Пункт	Ранговый коэффициент корреляции r для				
			магния	кальция	хлоридов	сульфатов	ионов HCO_3^-
I. Северо-Кольская провинция							
101	Териберка	60 км Серебрянской автодороги	–	–	-0,21	–	0,20
102	Печенга	ст. Печенга	0,26	0,23	–	0,19	0,22
103	Ура	с. Ура-Губа	–	–	-0,15	0,11	0,22
II. Малоземельско-Большеземельская провинция							
201	Печора	г. Нарьян-Мар	–	-0,10	-0,10	-0,28	–
202	Уса	ст. Сейда	0,16	–	-0,12	–	–
203		с. Адзьва	–	–	–	–	–
204	Колва	с. Хорей-Вер	–	–	–	-0,24	0,13
205	Адзьва	д. Харута	–	–	–	-0,12	0,14
206	Сула	д. Коткино	–	–	–	-0,23	0,12

Примечание: *101: 1 – номер провинции, 01 – порядковый номер реки в провинции.
Цветом выделены статистически значимые ранговые коэффициенты корреляции при $p<0,05$: зеленый цвет означает убывающую тенденцию, розовый – возрастающую.

Таблица 21 – Коэффициенты корреляции для концентраций биогенных и органических веществ в речных водах зон тундры и лесотундры ЕЧР (составлено по [178, 215])

Номер*	Река	Пункт	Ранговый коэффициент корреляции r для					
			N (NH_4^+)	N (NO_3^-)	кислорода	ОВ ($БПК_5$)	ОВ (ХПК)	нефтепрод.
I. Северо-Кольская провинция								
101	Териберка	60 км Серебрянской а/д	–	–	–	-0,11	–	0,28
102	Печенга	ст. Печенга	–	0,31	–	-0,12	–	0,23
103	Ура	с. Ура-Губа	–	–	–	–	–	–
II. Малоземельско-Большеземельская провинция								
201	Печора	г. Нарьян-Мар	–	–	–	–	–	0,17
202	Уса	ст. Сейда	-0,36	0,17	–	м.д.	-0,23	-0,60
203		с. Адзьва	-0,30	0,20	–	м.д.	-0,18	-0,45
204	Колва	с. Хорей-Вер	-0,47	0,21	–	–	-0,12	-0,45
205	Адзьва	д. Харута	-0,25	0,20	–	-0,17	–	-0,34
206	Сула	д. Коткино	-0,22	0,31	-0,19	–	–	-0,13

Примечание: *101: 1 – номер провинции, 01 – порядковый номер реки в провинции; м.д. – мало данных.
Цветом выделены статистически значимые коэффициенты корреляции при $p<0,05$: зеленый цвет означает убывающую тенденцию, розовый – возрастающую.

Соединения металлов. В целом по концентрациям растворенных форм металлов выявлено 12 статистически значимых возрастающих тенденций и 5 убывающих из 24 возможных случаев (таблица 22). Большинство обнаруженных статистически значимых тенденций концентраций металлов в воде рек зон тундры и лесотундры являются возрастающими, за исключением соединений меди, для которых характерны убывающие тенденции.

Таблица 22 – Значения коэффициента корреляции для металлов в речных водах зон тундры и лесотундры ЕЧР (составлено по [178, 215])

Номер*	Река	Пункт	Коэффициент корреляции r для соединений			
			железа	меди	цинка	марганца
I. Северо-Кольская провинция						
101	Териберка	60 км Серебрянской автодороги	–	-0,10	0,12	–
102	Печенга	ст. Печенга	-0,13	0,15	0,10	0,21
103	Ура	с. Ура-Губа	0,31	–	м.д.	0,14
II. Малоземельско-Большеземельская провинция						
201	Печора	г. Нарьян-Мар	0,12	-0,13	–	0,24
202	Уса	ст. Сейда	–	-0,19	м.д.	н.д.
203		с. Адзьва	–	м.д.	м.д.	м.д.
204	Колва	с. Хорей-Вер	0,40	-0,33	м.д.	н.д.
205	Адзьва	д. Харута	0,18	-0,18	м.д.	н.д.
206	Сула	д. Коткино	0,49	–	м.д.	н.д.
Примечание: *101: 1 – номер провинции, 01 – порядковый номер реки в провинции. Цветом выделены статистически значимые ранговые коэффициенты корреляции при p<0,05: зеленый цвет означает убывающую тенденцию, розовый – возрастающую; м.д. – мало данных, н.д. – нет данных.						

В целом по всем водных объектам и всем показателям статистически значимые возрастающие и убывающие тенденции концентраций химических веществ обнаружены в 64-х случаях из 121 возможных вариант. Причем возрастающих и убывающих тенденций выявлено поровну по 26,5 % и в 47,0 % случаях четких статистически значимых тенденций не было обнаружено.

В основном обнаруженные статистически значимые связи (в 73 % случаев) имеют слабую силу, однако иногда сила связи возрастает до умеренной (средней) (в 25 % случаев тенденций). Тесная (сильная) связь характерна только в одном случае – для убы-

вающей тенденции по нефтепродуктам на участке р. Уса у ст. Сейда (r = -0,60). Для рр. Териберка, Ура, Печора, Уса (с. Адзьва) и Сула в большинстве случаев не выявлены тенденции, для р. Печенга большинство выявленных тенденций возрастающие, а для рек Уса (ст. Сейда), Колва и Адзьва – поровну убывающих тенденций и отсутствие тренда.

Таким образом, для речных вод зон тундры и лесотундры ЕЧР корреляционный анализ данных о химическом составе воды показал, что в большинстве случаев наблюдается либо отсутствие статистически значимых трендов, либо присутствуют убывающие тенденции. Исключение составили гидрокарбонаты, нитраты и соединения железа, для которых выявлено преобладание возрастающих трендов (рисунок 6).

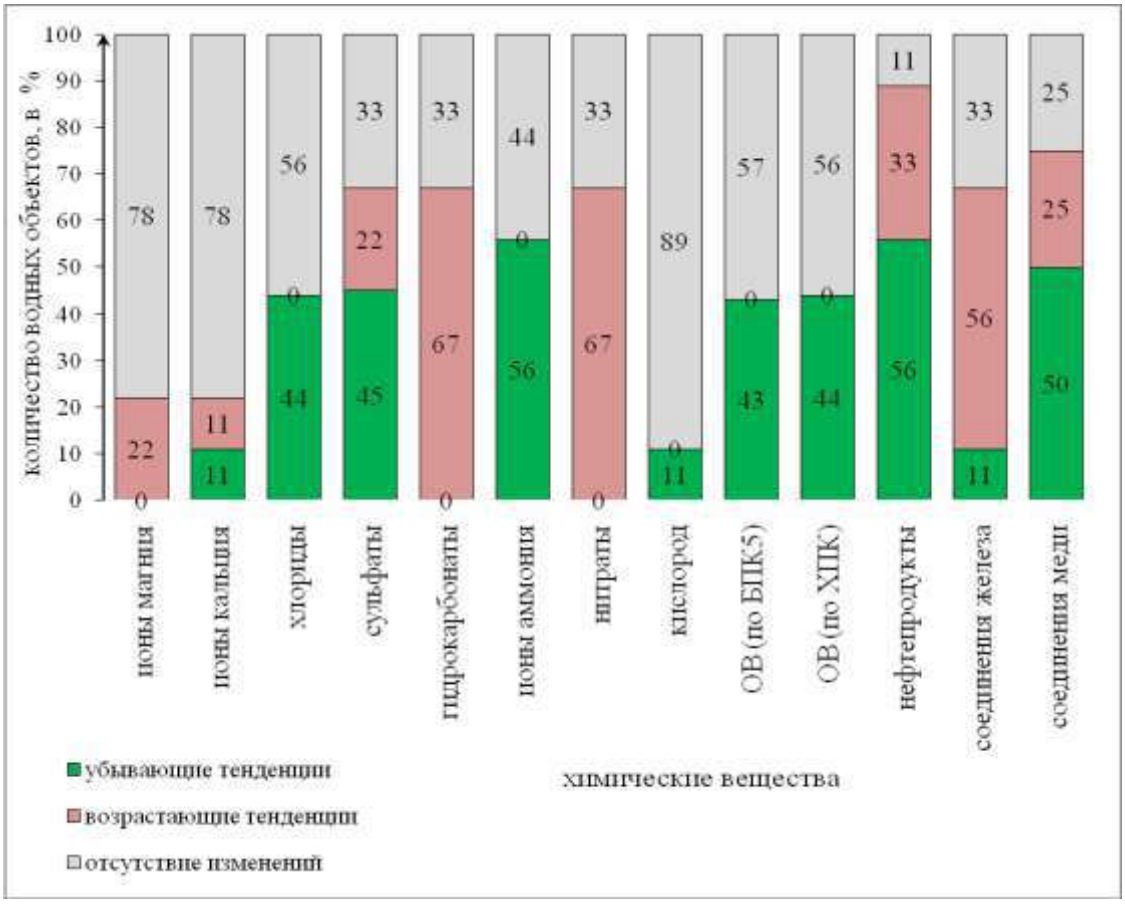


Рисунок 6 – Распределение тенденций изменчивости концентраций химических веществ в речных водах зон тундры и лесотундры ЕЧР [217])

Исследуемые гидрохимические показатели можно разделить на группы:

1) для ионов кальция и магния, растворенного в воде кислорода наблюдается преобладание случаев отсутствия трендов;

2) для хлоридов, азота аммонийного и органических веществ в речных водах зон тундры и лесотундры ЕЧР характерно отсутствие возрастающих трендов и примерное равенство убывающих и безтрендовых выборок;

3) для сульфатов, нефтепродуктов и соединений меди выявлено преобладание убывающих тенденций (45-56 %) при существенной доле и возрастающих трендов (22-33 %);

4) в изменчивости концентраций гидрокарбонатов, нитратов и соединений железа выявлена высокая доля возрастающих трендов (56-67 % участков рек).

3.2 Основные источники загрязнения речных вод

Анализ литературных и собственных данных по факторам загрязнения показал, что поверхностные водные объекты региона испытывают большой спектр техногенных воздействий. Наиболее масштабная трансформация как химического состава, так и гидрологического режима в настоящее время происходит вследствие освоения водосборных бассейнов, добычи полезных ископаемых, различного сырья. Среди механических форм воздействия наиболее значимым является зарегулирование поверхностного стока и вызванное этим понижение или повышение уровня грунтовых и поверхностных вод. В результате этого естественные водные объекты иногда перестают функционировать как исключительно природные образования, становясь природно-антропогенными. Наиболее существенным фактором техногенеза водных объектов при освоении нефтяных месторождений является химическое загрязнение нефтью и нефтепродуктами. По масштабности нефтяное загрязнение рек может в десятки раз превосходить площадь нефтяных разливов на суше. Изучение источников загрязнения речных вод может стать основой для разработки системы регионального нормирования по различным факторам загрязнения природных вод [244].

Объекты исследования в зонах тундры и лесотундры относятся к арктическому региону России, который имеет свои особенности и специфику не только природно-климатических условий, но и уязвимость к антропогенному воздействию в целом.

Специфика хозяйственной деятельности на водосборах и источники загрязнения рек в зонах тундры и лесотундры ЕЧР

По сравнению с большинством других районов мира в Арктическом регионе все еще сохраняется относительно чистая окружающая среда. Однако Арктика неразрывно

связана с остальным миром, и загрязняющие вещества не редко поступают из источников, находящихся далеко за пределами Арктического региона, за счет дальнего переноса с воздушными, морскими и речными потоками. Специфика Арктического региона такова, что серьезные локальные загрязнения могут при определенных условиях приобретать региональный и даже циркумполярный характер, оказывая влияние на экологическую ситуацию Арктики в целом и, в том числе, на глобальное изменение климата [57].

Для речных вод в зонах тундры и лесотундры основными загрязняющими водную среду веществами являются соединения тяжелых металлов, стойкие органические загрязнители, нефтепродукты, кислотные оксиды (за счет атмосферного переноса), радиоактивные элементы и другие химические вещества. Эти вещества могут находиться в разных формах – в растворенном виде в природных водах, в виде тонких частиц, в коллоидном, газообразном и других состояниях. От формы нахождения тех или иных загрязняющих веществ зависят и способы, и пути их переноса от источников загрязнения до областей их осаждения и аккумуляции на водосборах рек [57]. «Большое количество загрязняющих веществ поступает в реки при таянии снега и льда весной. Накопленные за зимний период поллютанты удаляются на 40-80% с первыми 20-30% талых вод, которые по мерзлой земле прямо стекают в реки и озера, практически не просачиваясь в почву и не попадая в подземные воды. Реки, таким образом, являются ключевым агентом транспортировки загрязняющих веществ на расстояния в тысячи километров» [57, с. 313].

К основным источникам загрязнения речных вод в зонах тундры и лесотундры арктической части ЕЧР можно отнести горнорудную и металлургическую промышленность, речные и морские порты и урбанизацию, морской транспорт, рыболовство, сельское хозяйство и аквакультура. Кроме выше перечисленного, на состояние речных участков влияют и другие физические виды воздействий, такие как строительство плотин и других конструкций в русле реки, водозабор на промышленные, муниципальные и другие нужды, сброс промышленных, сельскохозяйственных и муниципальных отходов, навигация и землечерпательные работы, разработка речных донных отложений (стройматериалы) и многое другое.

Западная часть Европейской Арктики – Реки Кольского полуострова

Кольский полуостров – один из наиболее индустриально развитых регионов, расположенных за Полярным кругом, где окружающая среда испытывает мощную техно-

генную нагрузку. Промышленное освоение территории связано, прежде всего, с отраслью горнодобывающей промышленности. Исследуемая территория богата полезными ископаемыми: строительными материалами, апатит-магнетитовыми и титановыми (Кольский район), медно-никелевыми (Печенгский район) рудами, благородными и редкими металлами (Ловозерский район). Соответственно наиболее интенсивное хозяйственное освоение наблюдается на обозначенных месторождениях, где ведут добычу крупные горно-обогатительные комбинаты: предприятия цветной металлургии – ОАО «Кольская ГМК» (комбинат «Печенганикель») [257]. Здесь «сформировалось шесть промышленных узлов, которые являются очагами интенсивного техногенного воздействия на окружающую среду», составляющие один из импакных районов арктической зоны России – Кольский импактный район, характеризующийся кризисной остротой экологической ситуации [203]. Интенсивное воздействие на водные объекты происходит за счет деятельности предприятий горно-металлургического комплекса, горнодобывающей промышленности, горнообогатительных фабрик и др. (рисунок 7).

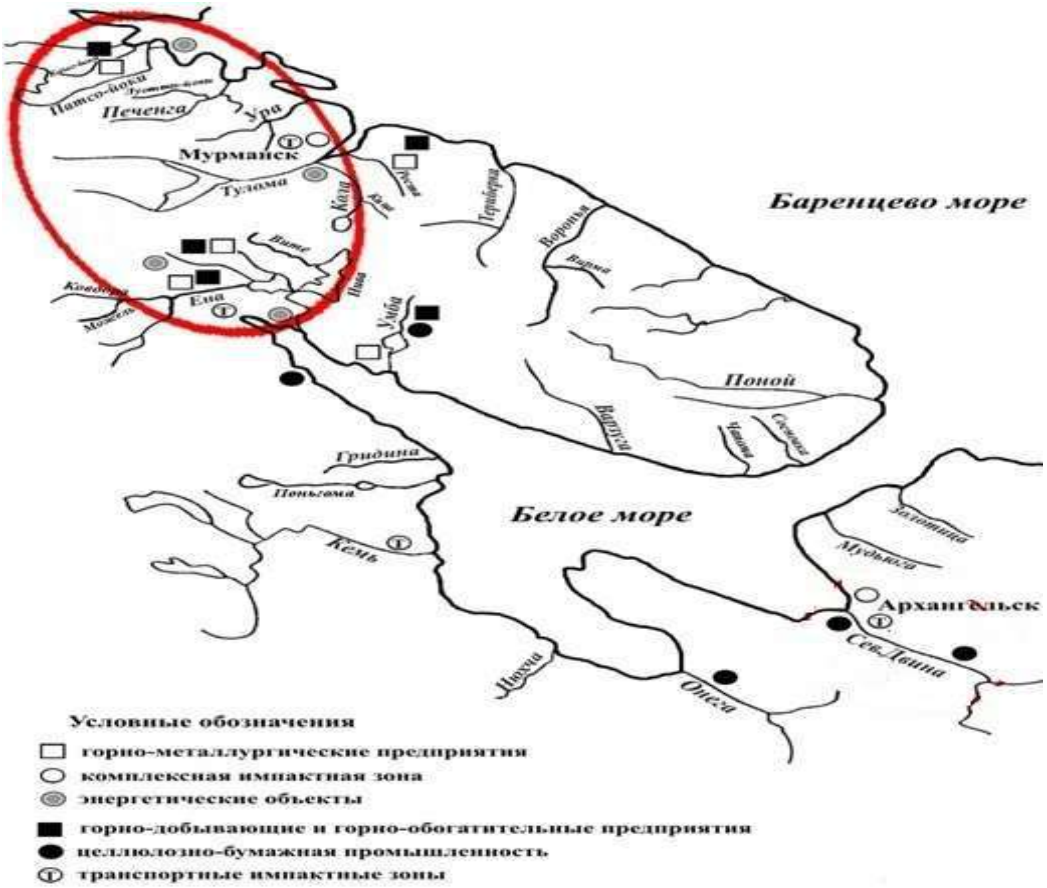


Рисунок 7 – Картосхема расположения основных источников загрязнения речных вод в границах Кольского импактного района (красный овал) (составлено по [203])

В результате деятельности сконцентрированных на рассматриваемой территории предприятий горнодобывающей и металлургической промышленности, теплоэнергетики, жилищно-коммунального хозяйства происходит загрязнение не только водных объектов, но и их водосборов. Немаловажным фактором загрязнения является диффузный сток с селитебных территорий, промышленных зон и нарушенных земель, фильтрация в грунтовые воды стоков со свалок твердых бытовых и промышленных отходов.

Кроме того, происходит значительное аэрогенное загрязнение водных объектов и водосборных территорий. Основной вклад в загрязнение водных объектов вносит сброс недостаточно очищенных сточных вод промышленными предприятиями и хозяйственно-бытовых сточных вод (таблица 23).

Так, стоками Ловозерского ГОКа загрязняются воды р. Сергевань и оз. Ловозеро. На водные объекты бассейнов рек Патсо-йоки и Печенга оказывает влияние деятельность комбината «Печенганикель» ОАО «Кольская ГМК» (например, р. Колос-Йоки, п. Никель). Основными загрязняющими веществами, поступающими с промышленными стоками со шлакоотвала плавцеха и шахтными водами комбината являются соединения серы (главным образом, сульфаты) и тяжелых металлов (Ni, Cu. Co, Cd, Cr, Zn, Hg и др.) [85].

Таблица 23 – Перечень возможных источников загрязнения речных вод в зонах тундры и лесотундры ЕЧР (реки Кольского полуострова) (составлено по [139, 149, 257]

Река, пункт	Возможные источники загрязнения	Загрязняющие вещества
Кола, г. Кола	Хозбытовые и ливневые стоки населенных пунктов, шахтные воды, сточные и фильтрационные воды с полей, территорий навозохранилищ и жижесборников совхозов; промышленные, бытовые и ливневые сбросы некоторых мелких предприятий и поселков, расположенных по берегам реки	Азот аммонийный, азот нитритный, соединения меди, марганца
Колос-йоки, пгт Никель	Горно-металлургическая промышленность (комбинат «Печенганикель», «Кольской ГМК» (промстоки со шлакоотвала плавцеха и шахтные воды комбината), хозяйственно-бытовые сточные воды	ОВ, биогенные вещества; сульфаты, тяжелые металлы (Ni, Cu. Co, Cd, Cr, Zn, Hg и др.)

Река, пункт	Возможные источники загрязнения	Загрязняющие вещества
Печенга, п. Корзуново	Организованных сбросов в р. Печенга нет. Притоки испытывают воздействие ОАО «ГМК Печенга-никель», промышленных и хозбытовых стоков г.Заполярный	Никель, медь, марганец, железо, цинк, сульфаты, азот нитритный, дитиофосфат
Печенга, ст. Печенга	Организованных сбросов в р. Печенга нет. Притоки испытывают воздействие ОАО «ГМК Печенга-никель», промышленных и хозбытовых стоков г.Заполярный	Никель, медь, марганец, железо, цинк, сульфаты, азот нитритный
Нама-Йоки, с. Луостари	загрязненные фильтрационные воды с хвостохранилища обогатительной фабрики АО ГМК Печенганикель, а также загрязненные воды с поверхностным стоком в период весеннего половодья и дождевых паводков, а также хозбытовые сточные воды ЖКХ Печенгского района	Соединения никеля и меди, дитиофосфат, фенол
Териберка, 60-й км Серебрянской а/д	Промышленные и бытовые береговые стоки, сброс с судов, загрязненные стоки с автодороги Мурманск – Туманный	Соединения железа, меди, НФПР, ХОС, радионуклеиды
Ура, с. Ура-Губа	Ливневые стоки населенных пунктов, воинских частей	ОВ, биогенные вещества, нефтепродукты, медь, железо

Помимо этого, водные объекты данного района подвергаются загрязнению атмосферными выпадениями. В настоящее время в водных объектах, расположенных вблизи комбината «Печенганикель» (30-км зона), основные ионы по значимости распределяются следующим образом: сульфаты-гидрокарбонаты-хлориды; Ca-Na-Mg-K, т.е. вода соответствует сульфатному классу, тогда как в удаленных водоемах состав исследуемых вод в основном соответствует природному распределению и относится к гидрокарбонатному классу [85].

Несмотря на сокращение комбинатом «Печенга-Никель» выбросов SO_2 выпадение соединений серы до сих пор оказывает воздействие на данный район. Концентрации сульфатов в водных объектах вблизи комбината существенно выше, чем в других районах. Горные породы содержат большое количество щелочных и щелочно-земельных металлов, и, несмотря на значительное выпадение серы, на водосборной площади име-

ется достаточно основных катионов для предотвращения процесса закисления. Это отражается на качестве вод: водные объекты с относительно высоким содержанием сульфатов также имеют высокие концентрации основных ионов и высокую щелочность. Приоритетными загрязняющими веществами с токсичным эффектом, поступающими со сточными водами комбината «Печенганикель» являются тяжелые металлы. Так, зона высоких концентраций меди и цинка простирается на 30 км от комбината [85].

Несмотря на относительно неблагоприятные агроклиматические и почвенные условия, сельскохозяйственное освоение территории достаточно обширно. Сельское хозяйство в основном представлено животноводством. Среди отраслей животноводства наибольшее распространение получило оленеводство, хотя также имеются мясомолочные фермы, идет разведение крупного рогатого скота, свиней и птиц. Сточные и фильтрационные воды с территорий полей, навозохранилищ и жижесборников совхозов являются одним из источников загрязнения воды рр. Вирма, Кола, Печенга, Поной.

Жилищно-коммунальное хозяйство городов и поселков практически повсеместно вносит свой вклад в загрязнение речных вод Кольского полуострова (рр. Кола, Печенга, Ура и др.). Многие населенные пункты не имеют системы очистки сточных вод или используют несовершенные технологии очистки. Очистные сооружения дождевой канализации - отсутствуют, сброс стоков осуществляется без очистки в естественные водоемы и водотоки. Коммунально-бытовые стоки бактериально загрязнены и содержат органические соединения, взвешенные вещества, нефтепродукты, СПАВ и др.

Бассейн реки Печора

Бассейн р. Печора богат полезными ископаемыми (уголь, нефть, газ, золото и др.), а также лесными и водными природными ресурсами. Приоритетными направлениями хозяйственной деятельности в пределах бассейна являются добыча полезных ископаемых (угля, нефти и др.), а также выработка электроэнергии (теплоэнергетика). Местоположение бассейна также определяет его важность в транзитной транспортировке углеводородных полезных ископаемых из Западной Сибири и полуострова Ямал в западном направлении. В значительно меньшей степени развиты сельскохозяйственное производство и другие отрасли промышленности [255]. И именно такая специфика развития хозяйственной деятельности на территории бассейна р. Печора (нефтедобывающая, нефте- и газоперерабатывающая и угледобывающая отрасли промышленности и пр.) определя-

ет широкий комплекс органических и неорганических веществ, загрязняющих поверхностные воды (таблица 24).

Для рек бассейна Печоры потенциальными источниками загрязнения являются предприятия угольной промышленности (бассейн р. Воркута), разведка нефти и газа, а также магистральные нефтепроводы (бассейн рр. Колва, Лая), предприятия коммунального хозяйства, энергетики, лесоперерабатывающей и рыбной промышленности (р. Печора, г. Нарьян-Мар) и водный транспорт. В большинстве населенных пунктов и небольших городов организованный сброс сточных вод отсутствует. Специфика хозяйственной деятельности и источники загрязнения на водосборах отдельных рек бассейна Печоры рассмотрена ниже.

Таблица 24 – Перечень возможных источников загрязнения речных вод в зонах тундры и лесотундры ЕЧР – в бассейне Печоры (составлено по [149, 255])

Река, пункт	Возможные источники загрязнения	Загрязняющие вещества
Печора, г. Нарьян-Мар	Транспорт и ЖКХ (ОАО «Нарьян-Марский морской торговый порт»; ОАО «Нарьян-Марский объединенный авиаотряд»; МУП «Нарьян-Марское автотранспортное предприятие»; МУП «Комбинат по благоустройству и бытовому обслуживанию»; «Севержилкомсервис». Пищевая промышленность (ОАО «Вита» (маслозавод); ОАО «Мясопродукты»; ОАО «Нарьян-Марский хлебозавод»; ГУП НАО «Ненецкая агропромышленная компания»; рыбокомбинат. Энергетика (ГУП «Нарьян-Марская электростанция» МУПОК и ТС (МУП объединённых котельных и тепловых сетей), лесозаводы.	Соединения металлов, фенолы, биогенные и органические вещества, нефтепродукты
Воркута, г. Воркута	Предприятия ТЭЦ, шахты ОАО «Воркутауголь», цементный завод ОАО «Воркутацемент»; породные отвалы и щахтные воды, сточные воды от промышленных предприятий и канализационных очистных сооружений	Пыль, Ca, N аммонийный и нитратный, сульфаты, хлориды и соединения ТМ
Колва, с. Хорейвер	Добыча и переработка полезных ископаемых, топливная промышленность (ООО «Лукойл-Коми» (Харьягинское месторождение) Хорейверский сельсовет, ООО «РН-Северная нефть», ООО «Компания Полярное Сияние», стоки угольных карьеров Печор-	Соединения металлов (Zn, As, Ar, Cr), нефтепродукты

Река, пункт	Возможные источники загрязнения	Загрязняющие вещества
	ского угольного бассейна	
Уса, бассейн в целом	Стоки из угольных карьеров Печорского угольного бассейна	Соединения Zn, As, Ar, Cr и др.

Река Воркута «протекает в центральной части Воркутинского промышленного района…. Геологическое расположение города Воркуты совпадает с центром мульды, шахтные поселки расположены на окрестности мульды – несколько выше центра города. Такое расположение обеспечивает поступление в ручьи загрязненных бытовых и промышленных отходов, которые затем попадают в русло реки» [22, с. 165]. Это «типичный пример водного объекта, подвергающегося интенсивному антропогенному воздействию» со стороны объектов угольной отрасли. В воды реки поступают такие вредные вещества, как сульфаты, азотистые соединения, металлы и др. [22, с 165]. Для геологического строения региона характерны многочисленные зоны разрывных и тектонических нарушений в границах бассейна реки [115].

АО «Воркутауголь» является градообразующим предприятием г. Воркуты. Основное производство составляют пять подземных шахт и один угольный разрез, вспомогательное – обогатительная фабрика, механический завод и транспортное предприятие. Открытая добыча угля усиливает загрязнение вод. Помимо предприятий АО «Воркутауголь», к основным источникам загрязнения р. Воркута можно отнести предприятия ТЭЦ, цементный завод ОАО «Воркутацемент» [22, 115].

Основные экологические проблемы в бассейне реки связаны с загрязнением поверхностных вод сульфатами и соединениями тяжелых металлов. «Рост концентрации сульфатов в р. Воркуте вызывает тревогу. Источниками сульфатов являются породы шахтных отвалов, в которых происходят процессы выщелачивания серы из её соединений, образование растворимые солей тяжёлых металлов и их активная миграция. Наибольшая концентрация сульфатов обнаружена в малых водотоках города – 175-710 мг/л; они выносятся в реку на 95% площади водозабора» [115, с. 228]. Источником соединений тяжелых металлов являются горные породы шахтных отвалов и городские территории, где материал отвалов используется для отсыпки дорог и дворов на территории города и поселков. Под действием атмосферных осадков происходят процессы выщелачи-

вания серы из её соединений. «Почво-грунты в пределах населенных пунктов являются источником загрязнения реки тяжелыми металлами, концентрация которых в терригенных стоках могут достигать: марганец – 90, медь – 43, цинк – 15, ртуть – 1,2 ПДК. Возможный ежегодный смыв металлов с территории города составит: марганец – 329, барий – 122, цинк – 112, стронций – 50, свинец – 18, медь – 17,2 кг/км^2» [115, с. 228].

К источникам загрязнения воды р. Воркута азотсодержащими веществами можно отнести сточные бытовые и подземные шахтные воды. «В шахтных водах появляются окисленные соединения азота, концентрация которых может превышать 10 мг/л… Следует отметить, что на качество воды в водоёмах влияют не только сточные воды от промышленных предприятий и канализационных очистных сооружений, а так же паводок, изменение расхода воды в реках по временам года, не исключена возможность влияния подземных залежей полезных ископаемых, например, железа и марганца» [22].

Река Печора (устьевая область). Основными источниками загрязнения вод р. Печора в районе г. Нарьян-Мар соединениями металлов, фенолами, биогенными и органическими веществами, нефтепродуктами являются предприятия транспорта, энергетики, пищевой и лесозаготавливащей промышленности и ЖКХ (таблица 24).

Устьевая область р. Печора используется для целей речного и морского судоходства. Здесь расположен морской и речной порт Нарьян-Мар, поэтому вероятность нефтяного загрязнения устья реки и прибрежных зон Печорской губы Баренцева моря обусловлена аварийными ситуациями на морских судах, нефтедобывающих платформах и трубопроводах. «В пределах региона из-за густоты гидрографической сети нефтепроводы часто пересекают водные объекты, в связи с чем при авариях нефть поступает в воды р. Печора. Очевидно, что аварийное, антропогенное воздействие приводит к нарушению природной биогеохимической сбалансированности водных и наземных систем, нарушению их химических циклов и режима функционирования» [140, с. 122].

Река Уса. Согласно данным, приведенным в [57] одним из источников загрязнения вод реки Уса соединениями тяжелых металлов (Zn, As, Ar, Cr) являются стоки из угольных карьеров Печорского угольного бассейна.

3.3 Пространственно-временная изменчивость качества воды и состояния речных вод по гидрохимическим показателям

Оценка изменчивости качества речных вод проведена на основе многолетней гидрохимической информации с использованием таких показателей как значение УКИЗВ, класс качества и степень загрязненности воды. Для оценки временной динамики рассмотрены классы качества и степень загрязненности воды исследуемых участков рек в зонах тундры и лесотундры ЕЧР с разбивкой информации по пятилетиям (за многолетний период с 1985 по 2015 гг.). «Результаты обобщения этой многолетней гидрохимической информации показали заметную пространственную неоднородность состояния речных экосистем по степени загрязненности их водной среды». Ранее нами отмечалось, что изменение степени «загрязненности водной среды рек происходит за счет повышения или понижения содержания в ней, в первую очередь, легко- и трудноокисляемых ОВ, минеральных форм азота, фенолов, нефтепродуктов и соединений железа, меди, цинка, никеля, марганца, реже – хлоридов, сульфатов» [150, с. 523].

Состояние водной среды рек, протекающих на территории зон тундры и лесотундры, за многолетний период можно характеризовать по степени загрязненности воды как (таблица 25):

- стабильно «очень загрязненные» и «загрязненные» (3-й класс качества воды) – это рр. Печенга (ст. Печенга), Териберка, Уса (д. Адъзва);

- переходные от «загрязненных» и «очень загрязненным» (3-й класс качества воды) к «слабо загрязненным» (2-й класс) – это рр. Ура, Уса (ст. Сейда);

Таблица 25 – Пространственно-временная изменчивость качества воды речных вод в зонах тундры и лесотундры ЕЧР (составлено по [63, 139, 150]

№	Река	Пункт	Степень загрязненности (класс качества) воды						Тенденция
			1985-1989	1990-1994	1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-2015	
I. Северо-Кольская провинция									
1	Териберка	60 км Серебрянской а/д	загрязненная (3 а)	загрязненная (3 а)	очень загрязненная (3 б)	очень загрязненная (3 б)	загрязненная (3 а)	загрязненная (3 а)	стабилизация
2	Печенга	ст. Печенга	очень загрязненная (3 б)		очень загрязненная (3 б)	очень загрязненная (3 б)	очень загрязненная (3 б)	очень загрязненная (3 б)	стабилизация
3	Ура	с. Ура-Губа	загрязненная (3 а)	загрязненная (3 а)	очень загрязненная (3 б)	очень загрязненная (3 б)	загрязненная (3 а)	слабо загрязненная (2)	**улучшение**
II. Малоземельско-Большеземельская провинция									
4	Печора	г. Нарьян-Мар	грязная (4 а, б)	очень загрязненная (3 б)		очень загрязненная (3 б)		грязная (4 а, б)	***ухудшение***
5	Уса	ст. Сейда	грязная (4 а, б)	очень загрязненная (3 б)		загрязненная (3 а)	загрязненная (3 а)	слабо загрязненная (2)	**улучшение**
6		с. Адзьва	очень загрязненная (3 б)	очень загрязненная (3 б)	очень загрязненная (3 б)	загрязненная (3 а)	загрязненная (3 а)	загрязненная (3 а)	стабилизация
7	Колва	с. Хорей-Вер	грязная (4 а, б)	грязная (4 а, б)	очень загрязненная (3 б)	очень загрязненная (3 б)	грязная (4 а, б)	очень загрязненная (3 б)	нет
8	Адзьва	д. Харута	грязная (4 а, б)	грязная (4 а, б)	грязная (4 а, б)	очень загрязненная (3 б)	очень загрязненная (3 б)	загрязненная (3 а)	**улучшение**
9	Сула	д. Коткино	грязная (4 а, б)	грязная (4 а, б)	грязная (4 а, б)	грязная (4 а, б)	грязная (4 а, б)	грязная (4 а, б)	стабилизация

- переходные от «грязных» (4-й класс качества) к «очень загрязненным» (3-й класс) – это рр. Печора (г. Нарьян-Мар), Колва (с. Хорей-Вер), Адзьва (д. Харута);

- стабильно «грязные» (4 класс качества воды) – это р. Сула (д. Коткино).

Анализ пространственно-временной изменчивости качества воды и степени ее загрязненности на участках рек в зонах тундры и лесотундры ЕЧР показал, что большинство исследуемых участков рек имеют тенденцию к стабилизации (44 %) или улучшению качества воды (33 %) в многолетнем аспекте (таблица 25).

Оценка многолетней (за период с 1985 по 2017 гг.) изменчивости состояния водной среды исследуемых речных вод зон тундры и лесотундры ЕЧР, проведена в соответствии с [175] по таким интегральным гидрохимическим показателям, как легкоокисляемые органические вещества (ЛОВ), определяемые по $БПК_5$, и азот аммонийный.

Для оценки изменчивости состояния водной среды речных участков по интегральным гидрохимическим показателям рассчитаны модальные интервалы (МИ) значений этих показателей и сравнены с критериями, приведенным в классификаторе состояния водных объектов (см. таблицу 7). Полученные результаты представлены в таблице 26.

По содержанию в воде азота аммонийного состояние всех исследуемых речных участков оценивается как «естественное» или «равновесное», а по содержанию органических веществ как:

- «естественное» для речных участков Териберки и Уры;

- «равновесное» или переходное из «естественного» в «равновесное» для рр. Печенга, Уса (ст. Сейда), Адзьва (д. Харута), Сула (д. Коткино);

- переходное из «естественного» или «равновесного» в «напряженное» для рр. Печора (г. Нарьян-Мар), Колва (с. Хорей-Вер), Уса (д. Адъзва).

В целом состояние большинства исследуемых речных участков по интегральным гидрохимическим показателям оценивается как «естественное», «равновесное» или переходное из «естественного» в «равновесное». Наиболее напряженная ситуация наблюдалась на участках рек в бассейне Печора, где для половины из изученных участков рек состояние соответствует переходному из «равновесного» в «напряженное».

Таблица 26 – Изменчивость состояния речных вод зон тундры и лесотундры ЕЧР по интегральным гидрохимическим показателям

№	Река	Пункт наблюдений	ЛОВ		Азот аммонийный	
			МИ концентраций, мг/дм^3	состояние	МИ концентраций, мг/дм^3	состояние
I. Северо-Кольская провинция						
1	Териберка	60 км Серебрянской автодороги	0,45-0,75	естественное	н.о.*-0,05	естественное
2	Печенга	ст. Печенга	0,21-1,65	переходное из естественного в равновесное	н.о.-0,07	естественное
3	Ура	с. Ура-Губа	0,09-0,71	естественное	н.о.-0,07	естественное
II. Малоземельско-Большеземельская провинция						
4	Печора	г. Нарьян-Мар	1,43-3,52	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,10	естественное
5	Уса	ст. Сейда	0,32-1,84		н.о.-0,34	равновесное
6	Уса	с. Адзьва	0,60-4,05	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,28	равновесное
7	Колва	с. Хорей-Вер	1,66-3,16		н.о.-0,20	равновесное
8	Адзьва	д. Харута	0,33-1,87	равновесное	н.о.-0,30	равновесное
9	Сула	д. Коткино	0,16-1,81	переходное из естественного в равновесное	н.о.-0,27	равновесное
Примечания: *н.о. – ниже предела обнаружения; ЛОВ – лекгоокисляемые органические веществ а; МИ – модальный интервал (интервал наиболее часто встречаемых значений концентраций).						

Таким образом, для зон тундры и лесотундры выявлена заметная пространственная неоднородность в состоянии участков рек как по степени загрязненности их водной среды (качеству воды), так и по интегральным гидрохимическим показателям (ЛОВ (по $БПК_5$) и азоту аммонийному). В целом большинство исследуемых речных участков на территории зон тундры и лесотундры ЕЧР по степени загрязненности воды характеризуются как стабильно «очень загрязненные» и «загрязненные», что соответствует 3-му классу качества воды. Наиболее худшее качество воды фиксировалось на участках рек в бассейне Печора, а наиболее экологически неблагополучным является участок реки Сула у д. Коткино.

ГЛАВА 4 РЕЧНЫЕ ВОДЫ ЗОНЫ ТАЙГИ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

В зоне тайги в пределах ЕЧР располагается 10 физико-географических провинций, в пределах которых находятся 80 исследуемых рек (93 пункта наблюдений). За исключением Восточно-Кольской провинции, в которую попал один речной участок (р. Поной, с. Краснощелье), в остальных провинциях количество участков рек меняется от 6 до 17.

4.1 Тенденции изменчивости химического состава речных вод

Для выявления тенденций изменчивости химического состава речных водах необходимо рассчитать значения рангового коэффициента корреляции Кендалла, характеризующего зависимость между датами отбора проб и измеренными в эти дни концентрациями веществ или ионов [215]. Значения рангового коэффициента корреляции Кендалла для концентраций главных ионов (магния, кальция, хлоридов, сульфатов и гидрокарбонатов) в речных водах ЕЧР в зоне тайги приведены в таблице 27, для концентраций соединений азота, растворенного кислорода и органических веществ – в таблице 28 и для концентраций растворенных форм тяжелых металлов – в таблице 29.

Главные ионы. Анализ изменчивости содержания главных ионов в речных водах зоны тайги ЕЧР позволил выявить 206 случаев тенденций: 23 по кальцию, 35 по магнию, 36 по гидрокарбонатам, 51 по хлоридам и 61 по сульфатам. Из общего числа обнаруженных статистически значимых тенденций преобладают возрастающие для кальция (65 %), магния (74 %) и гидрокарбонатов (34 тенденции из 36 – 94 %) и убывающие – для сульфатов (70 %) и хлоридов (80 %) (таблица 27).

Биогенные и органические вещества. Из общего числа обнаруженных статистически значимых тенденций преобладают убывающие в 78 % случаях для азота аммонийного, 63 % - для кислорода, 81 % - для легкоокисляемых органических веществ (по $БПК_5$) и 77 % - для нефтепродуктов. Для азота нитратного и трудноокисляемых органических веществ (по ХПК) количество убывающих и возрастающих тенденций примерно одинаковое (таблица 28). Всего для биогенных и органических веществ выявлено 355 статистически значимых тенденций.

Таблица 27 – Значения коэффициента корреляции между датами отбора проб и концентрациями главных ионов в речных водах зоны тайги ЕЧР (составлено по [178, 215])

Номер*	Река	Пункт наблюдений	Коэффициент корреляции r для				
			ионов магния	ионов кальция	ионов хлора	сульфат-ионов	гидро-карбонат-ионов
III. Западно-Кольская провинция							
301	Лотта	устье	–	–	-0,22	0,17	0,25
302	Патсо-йоки	Борисоглебская ГЭС	–	0,17	-0,20	-0,13	0,23
303	Кола	исток	0,14	0,48	–	0,12	0,57
304		г. Кола	–	–	-0,17	–	0,26
305	Акким	п. Приречный	-0,20	–	-0,23	0,12	0,31
306	Печенга	п. Корзуново	0,24	0,17	–	0,16	0,15
307	Ена	п. Ена	0,19	0,14	-0,24	0,35	–
308	Кица	устье	–	–	-0,13	–	0,11
309	Ковдора	г. Ковдор	0,10	–	-0,12	0,13	–
310	Нама-йоки	пгт Луостари	0,22	0,13	–	0,15	0,13
311	Вите	устье	-0,16	–	-0,32	–	0,20
312	Сергевань	устье	–	–	-0,14	0,14	–
313	Вирма	с. Ловозеро	–	–	–	–	–
314	Колос-йоки	пгт Никель	–	0,14	-0,15	–	0,18
315	Можель	г. Ковдор	0,55	0,29	-0,11	0,33	–
IV. Восточно-Кольская провинция							
401	Поной	с. Краснощелье	-0,10	–	-0,23	–	–
V. Карельская провинция							
501	Свирь	пгт Свирица	–	–	-0,27	0,24	–
502	Вуокса	г. Приозерск	-0,22	-0,13	-0,33	0,19	-0,14
503	Кемь	г. Кемь	0,17	–	–	–	0,26
504	Лендерка	п. Лендеры	–	–	0,19	-0,29	0,28
505	Кереть	а.д. мост	0,26	–	0,41	-0,30	0,23
506	Олонка	г. Олонец	–	–	0,25	-0,37	–
507	Кумса	г. Медвежьегорск	–	–	0,26	-0,38	–
508	Волчья	д. Варшко	–	-0,17	-0,15	–	0,18
509	Лососинка	г. Печрозаводск	–	–	–	-0,31	0,17
VI. Онежско-Двинская провинция							
601	Онега	г. Каргополь	–	–	–	–	0,10
602	Сухона	г. Сокол	0,15	–	–	0,27	–
603	Емца	с. Сельцо	–	–	–	–	0,11
604	Волошка	п. Волошка	–	–	–	–	–
605	Вологда	г. Вологда	0,14	0,10	–	0,26	–
606	Кодина	р.п. Кодино	-0,11	-0,10	-0,10	-0,11	-0,07
607	Сямжена	с. Сямжа	0,20	0,20	0,36	0,31	0,16
608	Золотица	д. Верх. Золотица	–	–	–	–	–
609	Мудьюга	д. Патракеев-	–	–	-0,16	-0,19	–

Номер*	Река	Пункт наблюдений	Коэффициент корреляции r для				
			ионов магния	ионов кальция	ионов хлора	сульфат-ионов	гидро-карбонат-ионов
		ская					
VII. Пинего-Мезенская провинция							
701	Северная Двина	с. Усть-Пинега	–	–	–	–	0,10
702	Мезень	с. Дорогорское	-0,12	–	–	-0,14	–
703	Пинега	с. Кулогоры	–	–	–	–	–
704		с. Усть-Пинега	–	–	–	–	–
705	Кулой	д. Кулой	–	–	-0,24	–	–
706	Пеза	д. Сафоново	-0,13	–	–	-0,25	–
VIII. Мезенско-Двинская провинция							
801	Северная Двина	д. Абрамково	–	–	-0,12	–	–
802	Вычегда	г. Коряжма	0,28	–	–	-0,10	0,27
803		д. Гавриловка	–	–	-0,21	-0,13	–
804	Мезень	д. Макариб	–	–	-0,14	-0,14	–
805	Сухона	г. Тотьма	–	–	–	0,25	–
806	Вага	г. Вельск	–	–	-0,13	–	–
807		д. Глуборецкая	0,11	–	0,24	–	–
808	Вымь	с. Весляна	–	–	-0,35	–	–
809	Луза	д. Верхолузье	0,14	–	-0,25	-0,36	0,16
810	Локчим	с. Лопыдино	0,10	–	-0,27	-0,45	0,17
811	Виледь	д. Инаевская	–	–	–	-0,28	0,12
812	Яренга	с. Тохта	–	–	-0,22	-0,35	0,11
813	Покшень-га	д. Сылога	–	–	-0,17	–	–
814	Ледь	д. Зеленинская	0,13	–	-0,20	–	0,12
815	Двиница	д. Котлакса	0,18	0,12	0,26	0,32	–
816	Большая Лоптюга	д. Буткан	0,14	0,13	–	-0,18	0,15
817	Сура	д. Гора	–	–	–	–	–
IX. Тиманская провинция							
901	Печора	п. Троицко-Печорск	–	–	–	-0,29	0,11
902	Вишера	п. Рябинино	–	–	–	-0,13	–
903	Цильма	с. Трусово	–	–	–	-0,27	–
904	Колва	г. Чердынь	–	–	–	–	–
905	Ухта	г. Ухта	–	–	0,27	-0,12	–
906	Сойва	д. Ниж. Омра	–	–	-0,12	-0,39	–
X. Печорская провинция							
1001	Печора	д. Якша	–	–	–	-0,44	–
1002		с. Усть-Цильма	–	–	-0,10	-0,29	0,11
1003	Ижма	г. Сосногорск	–	-0,11	-0,24	-0,14	–
1004	Уса	с. Усть-Уса	–	–	–	-0,26	–

Номер*	Река	Пункт наблюдений	Коэффициент корреляции r для				
			ионов магния	ионов кальция	ионов хлора	сульфат-ионов	гидро-карбонат-ионов
1005	Илыч	п. Приуральск	–	–	-0,35	-0,47	0,13
1006	Кожва	с. Усть-Кожва	–	–	-0,13	-0,18	–
1007	Пижма	д. Боровая	0,21	0,12	-0,16	-0,23	0,21
XI. Ветлужско-Унжинская провинция							
1101	Вятка	г. Котельнич	–	–	-0,14	–	–
1102	Ветлуга	пгт Ветлужский	0,21	0,11	–	–	–
1102		д. Марьино	–	–	0,11	–	0,15
1104	Унжа	г. Мантурово	–	-0,12	–	-0,11	0,01
1105	Большая Кокшага	г. Санчурск	–	–	-0,16	–	0,14
1106	Керженец	с. Хахалы	0,21	0,15	–	0,14	–
1107	Немда	с. Селище	0,21	–	–	-0,35	–
1108	Межа	д. Загатино	–	-0,12	–	-0,16	–
1109	Шача	г. Приволжск	–	–	–	-0,17	–
1110	Сунжа	с. Новописцово	–	0,13	–	-0,28	–
XII. Вятско-Камская провинция							
1201	Кама	г. Сарапул	–	–	-0,17	0,14	–
1202		п. Тюлькино	–	–	–	-0,16	–
1203	Вятка	с. Красноглинье	–	-0,11	-0,19	–	–
1204		г. Слободской	–	–	–	–	–
1205	Чепца	с. Полом	-0,14	–	-0,13	–	0,11
1206	Кильмезь	д. Вичмарь	-0,17	-0,11	–	–	–
1207	Коса	с. Коса	–	–	–	-0,21	–
1208	Иж	г. Ижевск	–	–	-0,20	-0,12	–
1209	Обва	п. Рождественск	0,11	–	0,19	-0,33	–
1210	Иньва	г. Кудымкар	0,17	–	–	-0,30	–
1211		д. Слудка	0,14	–	–	-0,34	–
1212	Велва	д. Ошиб	0,13	–	–	-0,29	–
1213	Берсут	с. Урманчеево	–	–	-0,36	–	0,11

Примечание: *301: 3 – номер провинции, 01 – порядковый номер реки в провинции.
Цветом выделены статистически значимые ранговые коэффициенты корреляции при $p<0,05$: зеленый цвет означает убывающую тенденцию, розовый – возрастающую.

Соединения металлов. В целом по металлам выявлено 185 статистически значимых тенденций: 67 по железу, 60 по меди, 32 по цинку и 26 по марганцу. Большинство возрастающих тенденций в воде рек зоны тайги характерно для соединений железа (66 %) и марганца (58 %), убывающих – для соединений меди (78 %) и соединений цинка (67 %) (таблица 29).

Таблица 28 – Значения коэффициента корреляции между датами отбора проб и концентрациями биогенных, органических веществ и кислорода в речных водах зоны тайги ЕЧР (составлено по [178, 215])

Номер*	Река	Пункт	Коэффициент корреляции r для					
			азота аммонийного	азота нитратного	кислорода	ОВ ($БПК_5$)	ОВ (ХПК)	нефтепродуктов
III. Западно-Кольская провинция								
301	Лотта	устье	–	-0,22	-0,19	–	–	0,30
302	Патсойоки	Борисоглебская ГЭС	–	–	–	-0,10	–	0,30
303	Кола	исток	–	-0,15	0,11	–	–	0,30
304		г. Кола	-0,18	–	0,20	-0,18	–	0,25
305	Акким	п. Приречный	–	–	-0,20	–	–	0,30
306	Печенга	п. Корзуново	–	0,24	–	-0,07	-0,07	0,27
307	Ена	п. Ена	0,14	0,21	–	-0,39	0,15	0,26
308	Кица	устье	-0,11	-0,15	0,17	-0,20	–	0,30
309	Ковдора	г. Ковдор	–	–	0,06	-0,37	–	0,21
310	Намайоки	пгт Луостари	-0,21	0,14	–	-0,21	-0,19	0,23
311	Вите	устье	–	-0,20	0,12	0,18	–	0,25
312	Сергевань	устье	0,21	–	–	-0,23	–	0,28
313	Вирма	с. Ловозеро	0,16	–	0,17	-0,23	–	0,27
314	Колосйоки	пгт Никель	–	–	–	-0,10	-0,33	0,26
315	Можель	г. Ковдор	–	–	–	-0,45	–	0,38
IV. Восточно-Кольская провинция								
401	Поной	с. Краснощелье	–	-0,20	м.д.	-0,15	0,12	0,18
V. Карельская провинция								
501	Свирь	пгт Свирица	–	–	–	–	–	-0,34
502	Вуокса	г. Приозерск	0,16	–	0,10	–	0,14	-0,41
503	Кемь	г. Кемь	–	–	-0,23	0,36	–	0,16
504	Лендерка	п. Лендеры	-0,39	–	-0,17	-0,39	0,36	-0,21
505	Кереть	а/д мост	-0,50	–	-0,18	-0,31	–	-0,37
506	Олонка	г. Олонец	-0,57	–	–	-0,12	0,33	-0,14
507	Кумса	г. Медвежьегорск	-0,53	-0,16	–	–	м.д.	–
508	Волчья	д. Варшко	0,21	–	–	0,19	–	-0,22
509	Лососинка	г. Петрозаводск	-0,33	-0,12	–	-0,18	0,14	-0,45
VI. Онежско-Двинская провинция								
601	Онега	г. Каргополь	–	0,14	-0,10	-0,19	0,10	–
602	Сухона	г. Сокол	-0,23	–	-0,10	-0,13	–	-0,31
603	Емца	с. Сельцо	-0,11	-0,12	-0,38	-0,16	-0,18	–
604	Волошка	п. Волошка	-0,18	–	–	–	0,16	–
605	Вологда	г. Вологда	-0,20	–	–	-0,10	–	-0,26

Номер*	Река	Пункт	Коэффициент корреляции r для					
			азота аммонийного	азота нитратного	кислорода	ОВ ($БПК_5$)	ОВ (ХПК)	нефтепродуктов
606	Кодина	р.п. Кодино	-0,22	-0,24	-0,21	-0,42	–	–
607	Сямжена	с. Сямжа	-0,30	0,18	-0,15	-0,38	–	–
608	Золотица	д. Верхняя Золотица	-0,27	-0,25	-0,39	0,12	–	–
609	Мудьюга	д. Патракеевская	–	-0,26	–	0,34	–	–
VII. Пинего-Мезенская провинция								
701	Северная Двина	с. Усть-Пинега	–	–	–	-0,26	-0,10	–
702	Мезень	с. Дорогорское	–	-0,17	–	-0,24	–	–
703	Пинега	с. Кулогоры	-0,11	–	-0,20	-0,17	–	-0,19
704		с. Усть-Пинега	–	-0,22	-0,09	-0,33	–	–
705	Кулой	д. Кулой	-0,11	–	-0,48	-0,18	–	-0,27
706	Пеза	д. Сафоново	-0,11	-0,22	-0,15	–	–	–
VIII. Мезенско-Двинская провинция								
801	Северная Двина	д. Абрамково	-0,13	-0,11	–	0,25	-0,13	–
802	Вычегда	г. Коряжма	-0,28	–	-0,27	–	0,19	–
803		д. Гавриловка	-0,44	–	–	-0,27	–	-0,34
804	Мезень	д. Макариб	-0,29	-0,12	0,17	–	–	-0,29
805	Сухона	г. Тотьма	-0,31	0,11	–	-0,15	-0,15	-0,14
806	Вага	г. Вельск	–	–	–	–	–	-0,10
807		д. Глуборецкая	0,21	–	-0,23	0,24	–	–
808	Вымь	с. Весляна	-0,37	–	–	-0,25	–	-0,43
809	Луза	д. Верхолузье	-0,22	0,16	-0,25	-0,51	–	-0,42
810	Локчим	с. Лопыдино	-0,37	0,12	0,28	-0,38	–	-0,45
811	Виледь	д. Инаевская	-0,25	0,17	-0,11	–	–	-0,33
812	Яренга	с .Тохта	-0,39	0,16	–	–	–	-0,35
813	Покшеньга	д. Сылога	–	–	-0,32	-0,35	–	-0,18
814	Ледь	д. Зеленинская	–	–	-0,28	–	–	–
815	Двиница	д. Котлакса	-0,33	–	-0,16	0,22	–	-0,29
816	Большая Лоптюга	д. Буткан	-0,30	-0,11	–	-0,23	–	-0,12
817	Сура	д. Гора	–	-0,21	-0,16	-0,38	–	-0,17
IX. Тиманская провинция								
901	Печора	п. Троицко-Печорск	-0,46	0,24	–	-0,18	-0,15	-0,52
902	Вишера	п. Рябинино	–	-0,13	-0,16	-0,40	–	-0,22
903	Цильма	с. Трусово	-0,38	0,16	–	-0,43	–	-0,35
904	Колва	г. Чердынь	–	-0,19	-0,42	-0,35	0,15	-0,33
905	Ухта	г. Ухта	-0,26	0,14	–	-0,14	–	-0,46
906	Сойва	д. Нижняя	-0,44	0,16	–	-0,41	–	-0,24

Номер*	Река	Пункт	Коэффициент корреляции r для					
			азота аммонийного	азота нитратного	кислорода	ОВ ($БПК_5$)	ОВ (ХПК)	нефтепродуктов
		Омра						
X. Печорская провинция								
1001	Печора	д. Якша	-0,31	0,19	-0,31	0,31	–	-0,47
1002	Печора	с. Усть-Цильма	-0,23	0,27	0,13	-0,22	–	-0,46
1003	Ижма	г. Сосногорск	-0,21	0,34	–	–	–	-0,52
1004	Уса	с. Усть-Уса	-0,40	0,31	-0,18	-0,42	–	-0,32
1005	Илыч	п. Приуральск	-0,23	0,25	0,25	0,21	-0,19	-0,39
1006	Кожва	с. Усть-Кожва	-0,36	0,13	-0,15	-0,13	–	-0,22
1007	Пижма	д. Боровая	-0,34	0,21	-0,24	-0,23	-0,30	-0,56
XI. Ветлужско-Унжинская провинция								
1101	Вятка	г. Котельнич	–	–	0,24	0,16	0,15	-0,38
1102	Ветлуга	пгт Ветлужский	–	-0,17	0,15	-0,38	0,21	-0,29
1102		д. Марьино	-0,11	-0,14	-0,15	-0,20	-0,09	-0,43
1104	Унжа	г. Мантурово	0,11	0,14	-0,24	-0,27	0,12	-0,48
1105	Большая Кокшага	г. Санчурск	–	-0,16	0,10	-0,36	–	-0,32
1106	Керженец	с. Хахалы	–	-0,10	-0,10	0,32	0,26	-0,23
1107	Немда	с. Селище	–	–	0,13	0,24	0,12	-0,46
1108	Межа	д. Загатино	–	-0,18	-0,21	–	0,16	-0,14
1109	Шача	г. Приволжск	–	-0,17	–	–	-0,33	-0,40
1110	Сунжа	с. Новописцово	–	-0,16	–	–	-0,34	-0,45
XII. Вятско-Камская провинция								
1201	Кама	г. Сарапул	0,22	–	–	-0,25	-0,28	-0,53
1202		п. Тюлькино	–	–	–	-0,42	–	-0,12
1203	Вятка	с. Красноглинье	0,19	–	0,12	-0,24	0,22	-0,43
1204		г. Слободской	0,14	0,11	0,43	–	0,15	-0,46
1205	Чепца	с. Полом	0,35	0,13	0,27	–	–	-0,50
1206	Кильмезь	д. Вичмарь	0,24	0,11	0,30	0,10	0,12	-0,45
1207	Коса	с. Коса	–	–	-0,19	-0,26	–	-0,22
1208	Иж	г. Ижевск	0,26	–	0,07	-0,19	-0,20	-0,55
1209	Обва	п. Рождественск	–	–	-0,25	-0,48	0,16	-0,10
1210	Иньва	г. Кудымкар	-0,11	–	-0,20	-0,33	–	-0,14
1211		д. Слудка	-0,12	–	0,23	-0,27	–	-0,14
1212	Велва	д. Ошиб	–	–	-0,34	-0,43	–	–
1213	Берсут	с. Урманчеево	-0,11	0,51	–	-0,58	-0,38	-0,12

Примечание: *301: 3 – номер провинции, 01 – порядковый номер реки в провинции;
м.д. – мало данных. Цветом выделены статистически значимые ранговые коэффициенты корреляции при $p<0,05$: зеленый цвет означает убывающую тенденцию, красный – возрастающую.

Таблица 29 – Значения коэффициента корреляции между датами отбора проб и концентрациями соединений металлов в речных водах зоны тайги ЕЧР (составлено по [178, 215])

Номер*	Река	Пункт	Коэффициент корреляции r для соединений			
			железа	меди	цинка	марганца
III. Западно-Кольская провинция						
301	Лотта	устье	0,32	–	-0,17	0,15
302	Патсо-йоки	Борисоглебская ГЭС	-0,15	–	–	0,13
303	Кола	исток	-0,18	-0,21	–	-0,14
304		г. Кола	–	-0,14	–	–
305	Акким	п. Приречный	–	-0,10	м.д.	0,23
306	Печенга	п. Корзуново	-0,12	0,21	м.д.	0,21
307	Ена	п. Ена	0,15	–	–	0,28
308	Кица	устье	–	-0,23	–	–
309	Ковдора	г. Ковдор	-0,12	–	–	0,14
310	Нама-йоки	пгт Луостари	–	0,24	–	0,21
311	Вите	устье	–	-0,17	–	–
312	Сергевань	устье	0,14	–	–	0,29
313	Вирма	с. Ловозеро	0,25	-0,13	-0,21	0,26
314	Колос-йоки	пгт Никель	-0,19	0,21	–	–
315	Можель	г. Ковдор	-0,31	–	–	–
IV. Восточно-Кольская провинция						
401	Поной	с. Краснощелье	0,38	-0,18	м.д.	0,18
V. Карельская провинция						
501	Свирь	пгт Свирица	0,17	–	н.д.	-0,10
502	Вуокса	г. Приозерск	0,34	-0,12	н.д.	–
503	Кемь	г. Кемь	0,27	-0,21	н.д.	н.д.
504	Лендерка	п. Лендеры	0,26	-0,28	н.д.	н.д.
505	Кереть	автодорожный мост	0,27	м.д.	н.д.	н.д.
506	Олонка	г. Олонец	0,27	м.д.	н.д.	н.д.
507	Кумса	г. Медвежьегорск	0,28	м.д.	н.д.	н.д.
508	Волчья	д. Варшко	–	–	м.д.	–
509	Лососинка	г. Петрозаводск	0,18	-0,34	м.д.	н.д.
VI. Онежско-Двинская провинция						
601	Онега	г. Каргополь	0,14	-0,11	0,18	м.д.
602	Сухона	г. Сокол	-0,10	-0,16	–	–
603	Емца	с. Сельцо	-0,21	–	м.д.	н.д.
604	Волошка	п. Волошка	0,11	-0,25	–	н.д.
605	Вологда	г. Вологда	–	-0,13	–	–
606	Кодина	р.п. Кодино	–	-0,31	-0,10	н.д.
607	Сямжена	с. Сямжа	–	0,32	-0,14	н.д.
608	Золотица	д. Верхняя Золотица	0,19	0,13	–	м.д.
609	Мудьюга	д. Патракеевская	0,14	0,26	0,24	н.д.
VII. Пинего-Мезенская провинция						

Номер*	Река	Пункт	Коэффициент корреляции r для соединений			
			железа	меди	цинка	марганца
701	Северная Двина	с. Усть-Пинега	–	–	–	0,10
702	Мезень	с. Дорогорское	0,28	–	0,12	м.д.
703	Пинега	с. Кулогоры	-0,12	-0,21	-0,23	н.д.
704		с. Усть-Пинега	–	–	–	м.д.
705	Кулой	д. Кулой	–	–	-0,36	м.д.
706	Пеза	д. Сафоново	0,31	–	м.д.	н.д.
VIII. Мезенско-Двинская провинция						
801	Сев. Двина	д. Абрамково	–	–	–	н.д.
802	Вычегда	г. Коряжма	0,15	–	–	м.д.
803		д. Гавриловка	–	-0,22	–	м.д.
804	Мезень	д. Макариб	–	-0,19	-0,18	м.д.
805	Сухона	г. Тотьма	-0,23	-0,28	-0,24	н.д.
806	Вага	г. Вельск	–	-0,20	–	м.д.
807		д. Глуборецкая	–	–	-0,46	н.д.
808	Вымь	с. Весляна	0,16	-0,39	м.д.	м.д.
809	Луза	д. Верхолузье	0,34	-0,40	м.д.	м.д.
810	Локчим	с. Лопыдино	0,30	–	м.д.	м.д.
811	Виледь	д. Инаевская	0,26	-0,32	м.д.	н.д.
812	Яренга	с. Тохта	0,35	-0,14	м.д.	н.д.
813	Покшеньга	д. Сылога	–	–	м.д.	н.д.
814	Ледь	д. Зеленинская	–	–	–	н.д.
815	Двиница	д. Котлакса	–	–	–	н.д.
816	Большая Лоптюга	д. Буткан	0,16	-0,14	м.д.	м.д.
817	Сура	д. Гора	–	-0,14	–	н.д.
IX. Тиманская провинция						
901	Печора	п. Троицко-Печорск	–	-0,28	–	м.д.
902	Вишера	п. Рябинино	-0,45	-0,28	-0,36	-0,30
903	Цильма	с. Трусово	0,15	–	м.д.	м.д.
904	Колва	г. Чердынь	-0,32	-0,17	-0,21	-0,27
905	Ухта	г. Ухта	0,19	-0,26	–	м.д.
906	Сойва	д. Нижняя Омра	0,13	–	м.д.	м.д.
X. Печорская провинция						
1001	Печора	д. Якша	0,23	-0,27	0,29	м.д.
1002		с. Усть-Цильма	0,35	-0,27	-0,20	м.д.
1003	Ижма	г. Сосногорск	0,29	-0,20	–	м.д.
1004	Уса	с. Усть-Уса	0,39	-0,35	м.д.	м.д.
1005	Илыч	п. Приуральск	-0,13	–	-0,27	м.д.
1006	Кожва	с. Усть-Кожва	–	-0,29	м.д.	м.д.
1007	Пижма	д. Боровая	–	-0,19	м.д.	м.д.
XI. Ветлужско-Унжинская провинция						
1101	Вятка	г. Котельнич	0,30	-0,11	0,13	н.д.
1102	Ветлуга	пгт Ветлужский	-0,38	0,21	–	-0,13

Номер*	Река	Пункт	Коэффициент корреляции r для соединений			
			железа	меди	цинка	марганца
1103		д. Марьино	–	0,19	–	м.д.
1104	Унжа	г. Мантурово	0,18	-0,26	-0,31	0,12
1105	Большая Кокшага	г. Санчурск	-0,11	-0,14	0,10	н.д.
1106	Керженец	с. Хахалы	-0,45	0,23	-0,14	–
1107	Немда	с. Селище	0,19	м.д.	м.д.	0,12
1108	Межа	д. Загатино	0,19	м.д.	м.д.	0,21
1109	Шача	г. Приволжск	0,14	–	–	0,20
1110	Сунжа	с. Новописцово	0,14	–	–	–
XII. Вятско-Камская провинция						
1201	Кама	г. Сарапул	–	0,28	0,36	н.д.
1202		п. Тюлькино	-0,28	-0,23	-0,25	-0,25
1203	Вятка	с. Красноглинье	0,34	-0,22	-0,18	н.д.
1204		г. Слободской	0,18	-0,18	–	н.д.
1205	Чепца	с. Полом	0,22	0,37	0,43	н.д.
1206	Кильмезь	д. Вичмарь	0,18	-0,15	–	н.д.
1207	Коса	с. Коса	-0,29	–	-0,23	-0,18
1208	Иж	г. Ижевск	0,12	0,28	0,45	н.д.
1209	Обва	п. Рождественск	-0,28	-0,14	-0,20	-0,26
1210	Иньва	г. Кудымкар	-0,26	-0,23	-0,31	-0,24
1211		д. Слудка	-0,28	-0,28	-0,32	-0,30
1212	Велва	д. Ошиб	-0,26	-0,24	-0,28	-0,26
1213	Берсут	с. Урманчеево	-0,53	–	0,16	м.д.

Примечание: *301: 3 – номер провинции, 01 – порядковый номер реки в провинции.
Цветом выделены статистически значимые ранговые коэффициенты корреляции при $p<0,05$: зеленый цвет означает убывающую тенденцию, красный – возрастающую;
м.д. – мало данных, н.д. – нет данных.

В целом по всем водных объектам зоны тайги и всем показателям обнаружено 751 статистически значимые возрастающие (298 случаев) и убывающие тенденции (453 случая) концентраций химических веществ из 1314 возможных вариант. Причем убывающих тенденций выявлено больше, чем возрастающих, а в 43 % случаях четких статистически значимых тенденций не было обнаружено.

В абсолютных значениях больше всего тенденций обнаружено в изменении содержания в речных водах нефтепродуктов (78), легкоокисляемых органических веществ (73), соединений железа (68), сульфатов (61) и соединений меди (60). То есть в водной среде более половины исследуемых речных участков идут значимые изменения концентраций этих веществ (возрастающие или убывающие).

В основном обнаруженные статистически значимые связи положительные или отрицательные (в 63 % случаев) имеют слабую силу, сила связи возрастает до умеренной (средней) в 35 % случаев тенденций. Тесная (сильная) связь характерна только для 2-х процентов случаев (15 тенденций).

Прямая сильная (тесная) статистически значимая связь (возрастающая тенденция) обнаруживается по магнию на участке р. Можель у г. Ковдор (r = 0,50), по гидрокарбонатам для истока р. Кола (r = 0,57) и для нитратов на участке р. Берсут с. Урманчеево (r = 0,51).

Два случая обратной сильной (тесной) статистически значимой связи (убывающая тенденция) обнаруживаются по содержанию органических веществ по показателю $БПК_5$ на участке реки Луза у с. Верхолузье (r = -0,51) и на участке р. Берсут с. Урманчеево (r = - 0,58). Обратная сильная (тесная) статистически значимая связь отмечена по азоту аммонийному в рр. Кереть (г. Кереть, автодорожный мост), Олонка (г. Олонец), Кумса (г. Медвежьегорск) с коэффициентом корреляции r = - 0,50; r = - 0,57 и r = - 0,53 соответственно, а также по соединениям железа для р. Берсут с. Урманчеево (r = - 0,53).

Больше всего случаев обратной сильной (тесной) статистически значимой связи выявлено в изменчивости концентраций нефтепродуктов, что характерно для участков р. Печора, п. Троицко-Печорск (r = - 0,52); р. Ижма, г. Сосногорск (r = - 0,52); р. Пижма, д. Боровая (r = - 0,56); р. Кама, г. Сарапул (r = - 0,53); р. Чепца, с. Полом (r = - 0,50) и р. Иж, г. Ижевск (r = -0,55).

Если анализировать количественное распределение тенденции по каждому водному объекту, то можно сгруппировать их на три группы. Первую группу составляют участки рек, для которых из 15 гидрохимических показателей выявлено меньше всего тенденций в изменчивости химического состава воды. Таких участков оказалось 19 и для них характерно наличие 3-6 статистически значимых тенденций, что может свидетельствовать об относительной устойчивости химического состава воды.

По три тенденции выявлено для участков рек Вага (г. Вельск) и Мезень (с. Усть-Пинега), по 4 – рр. Волошка (п. Волошка), Покшеньга (д. Сылога) и Ледь (д. Зеленинская). Пять тенденций из 15 возможных обнаружено для 4-х речных участков – рр. Северная Двина (д. Абрамково), Свирь (пгт Свирица), Кумса (г. Медвежьегорск) и Сура (д. Гора). И больше всего в этой группе водных объектов, для которых характерны тенденции по 6 показателям – это рр. Золотица (д. Верхняя Золотица), Мезень (с. Дорогор-

ское), Кулой (д. Кулой), Пеза (д. Сафоново), Вычегда (д. Гавриловка), Вага (д. Глуборецкая), Вымь (с. Весляна), Цильма (с. Трусово), Шача (г. Приволжск), Сунжа (с. Новописцово). Для большинства участков рек выявлены убывающие тенденции по нефтепродуктам и возрастающие по соединениям железа (10). Разнонаправленные тенденции характерны также для большинства объектов по хлоридам, органическим и биогенным веществам.

Вторую группу участков рек составили те, у которых выявлено максимальное количество тенденций – по 10-12 из 15 гидрохимических показателей. Таких водных объектов оказалось 24 в зоне тайги. Большое количество убывающих или возрастающих тенденций, в свою очередь, может говорить о происходящей трансформации компонентного состава воды, об его низкой устойчивости во времени.

Так по 12 тенденций выявлено на участках рек Кодина (р.п. Кодино), Пижма (д. Борвая) и Унжа (г. Мантурово). Стоит отметить, что для данных речных участков преобладают убывающие тенденции. Особенно это характерно для р. Кодина – все 12 тенденций с обратной связью. Если выявленные убывающие тенденции по главным ионам имеют слабую статистическую связь, то по биогенным соединениям (r = - 0,24), органическим веществам (r = - 0,42) и соединениям железа (r = - 0,31) сила связи повышается до умеренной.

Примерно поровну участков рек, для которых выявлено по 10 и 11 тенденций из 15 показателей. По 10 тенденций характерно для рр. Кола (исток), Лендерка (п. Лендеры), Локчим (с. Лопыдино), Большая Лоптюга (д. Буткан), Ветлуга (пгт Ветлужский), Вятка (с. Красноглинье), Чепца (с. Полом), Кильмезь (д. Вичмар), Иж (г. Ижевск) и Инва (г. Кудымкар и д. Слудка), по 11 тенденций – рр. Печенга (п. Коруново), Ена (п. Ена), Нама-йоки (пгт Луостари), Вуокса (г. Приозерск), Сямжена (с. Сямжа), Печора (с. Усть-Цильма), Илыч (п. Приуральск), Керженец (с. Хахалы) и Обва (п. Рождественск).

Для большинства участков рек выявлены убывающие тенденции по легкоокисляемым ОВ и нефтепродуктам; возрастающие – по магнию, кальцию и гидрокарбонатам. По остальным гидрохимическим показателям тенденции имеют разнонаправленный характер. Третью группу водных объектов по количеству тенденций составляют те, для которых выявлено среднее количество трендов – от 7 до 9. Это наибольшая группа, куда попадают более половины всех исследуемых участков рек в зоне тайги ЕЧР.

Распределение основных тенденций изменчивости концентраций химических веществ в речных водах зоны тайги ЕЧР приведено на рисунке 8. Выявлен разнонаправленный характер изменчивости тенденций. Так доля убывающих тенденций меняется от 2 % (гидрокарбонаты) до 65 % (нефтепродукты), возрастающих – от 11 % по хлоридам до 33 % по гидрокарбонатам. Количество водных объектов, в которых по тем или иным показателям тренд не выявлен, меняется в процентном отношении от 22 % по общему содержанию ОВ до 75 % по содержанию кальция в речных водах зоны тайги ЕЧР (рисунок 8).

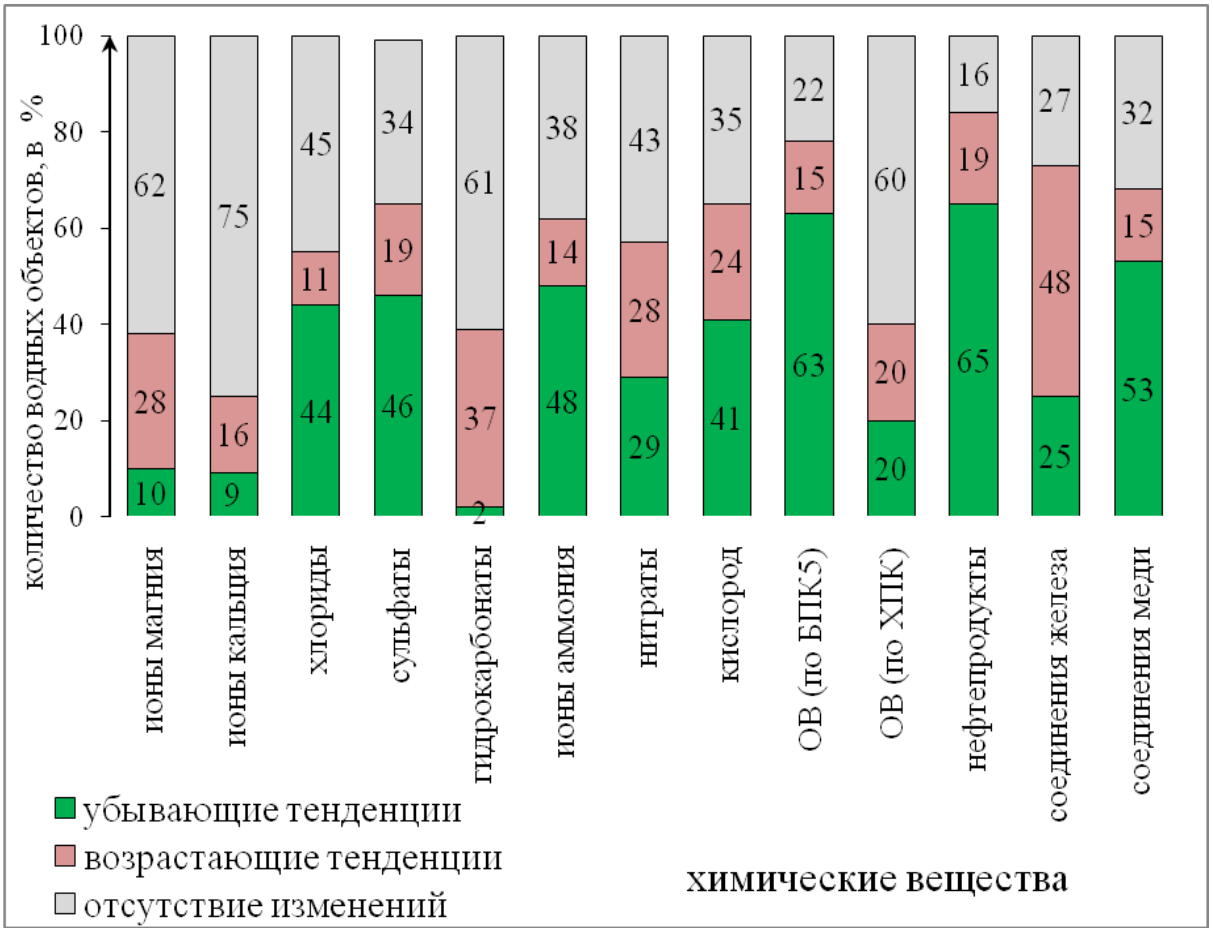


Рисунок 8 – Распределение основных тенденций изменчивости концентраций химических веществ в речных водах зоны тайги ЕЧР

Исследуемые гидрохимические показатели можно разделить на группы:

1) для ионов кальция (75 %) и магния (62 %), гидрокарбонатов (61 %) и ОВ по ХПК (60 %) наблюдается преобладание случаев отсутствия трендов;

2) для нитратов и общего ОВ (по ХПК) в речных водах зоны тайги характерно примерное равенство убывающих и возрастающих трендов;

3) для сульфатов (46 %), хлоридов (44 %), азота аммонийного (48 %), ОВ (по $БПК_5$) и нефтепродуктов (63-65 %), растворенного в воде кислорода (41 %) и соединений меди (53 %) выявлено преобладание убывающих тенденций;

4) в изменчивости концентраций соединений железа выявлена высокая доля возрастающих трендов (на 48 % участков рек).

Таким образом, для речных вод зоны тайги в пределах ЕЧР корреляционный анализ данных о химическом составе воды рек показал, что в большинстве случаев наблюдается либо отсутствие статистически значимых трендов, либо преобладают убывающие тенденции. Исключение составляют только соединения железа, для которых выявлено преобладание возрастающих трендов (в 48 % случаях).

4.2 Основные источники загрязнения речных вод

К основным источникам загрязнения речных вод в зоне тайги ЕЧР традиционно относятся горнодобывающая, лесоперерабатывающая, металлургическая и другие отрасли промышленности. Кроме выше перечисленного, на состояние речных систем влияют и другие физические виды воздействий, такие как строительство плотин и других конструкций в русле реки, водозабор на промышленные, муниципальные и другие нужды, сброс промышленных, сельскохозяйственных и муниципальных отходов, навигация и землечерпательные работы, разработка речных донных отложений (стройматериалы) и многое другое [128].

В зоне тайги расположена ***южная часть Кольского полуострова*** и, как уже отмечалось выше, промышленное освоение данной территории связано с горнодобывающей промышленностью. Здесь ведется добыча различных полезных ископаемых, особенно благородных и редких металлов в Ловозерском районе. Интенсивное воздействие на речные воды оказывают предприятия теплоэнергетики и металлургические предприятия (предприятия по производству редких металлов – ООО «Ловозерский ГОК» и черной металлургии – ОАО «Олкон» (Оленегорский ГОК)) [257].

В результате деятельности предприятий горнодобывающей и металлургической промышленности, теплоэнергетики, жилищно-коммунального хозяйства происходит

комплексное загрязнение речных вод широким спектром загрязняющих веществ. Основные источники загрязнения в зоне тайги на Кольском полуострове и загрязняющие вещества, поступающие в водные объекты приведены в таблице 30.

В пределах таёжной зоны ЕЧР полностью или частично располагаются водосборы таких крупных рек Печора, Северная Двина, Мезень, Онега и др.

Таблица 30 – Перечень источников загрязнения рек Кольского полуострова в зоне тайги ЕЧР (составлено по [149, 257])

Река, пункт	Возможные источники загрязнения	Загрязняющие вещества
Вирма, с. Ловозеро	Недостаточно-очищенные хозбытовые сточных вод поселка; загрязненные ливневые воды и стоки некоторых мелких предприятий, ОАО «Ловозерская горная компания»	Соединения металлов и органические вещества
Лотта, устье	Организованного сброса сточных вод в речную сеть нет	Соединения железа, меди
Поной, с. Краснощелье	Природные особенности территории (поступление с грунтовыми водами), сельское селитебное природопользование, фоновое традиционное	Фенолы, соединения металлов (медь, железо, марганец, цинк)

Как уже отмечалось выше, ***бассейн Печоры*** богат полезными ископаемыми (уголь, нефть, газ, золото и др.), а также лесными и водными природными ресурсами. Соответственно, приоритетными направлениями хозяйственной деятельности здесь являются добыча и переработка этих полезных ископаемых и теплоэнергетика. В значительно меньшей степени развиты сельскохозяйственное производство и другие отрасли промышленности [255]. И именно такая специфика развития хозяйственной деятельности на территории бассейна р. Печора (нефтедобывающая, нефте- и газоперерабатывающая и угледобывающая отрасли промышленности и пр.) определяет широкий комплекс органических и неорганических веществ, загрязняющих поверхностные воды.

В бассейне Северной Двины наличие значительных лесных ресурсов определило преимущественное развитие лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности. Огромное количество ЦБК и их подразделений располагаются в пределах водосбора реки и её притоков. Наиболее крупные промышленные предприятия (источники загрязнения речных вод) в пределах водосбора реки Северная Двина пред-

ставлены в таблице 31. Обеспечение населения водными ресурсами является приоритетной задачей водохозяйственного комплекса бассейна Северной Двины. К данной отрасли относится более 1/3 от общего количества отчитывающихся водопользователей, расположенных в бассейне. Предприятия коммунального хозяйства находятся на 2-ом месте по величине потребления воды из природных водных объектов. К ним относятся водоканалы крупных городов – Архангельска, Вологды, Сыктывкара, Котласа, Великого Устюга и др., обслуживающие жилищно-коммунальное хозяйство городов, объекты соцкультбыта и ряд промышленных и других предприятий [256].

Таблица 31 – Основные источники загрязнения речных вод, расположенные в бассейне Северной Двина (составлено по [256])

Отрасль	Предприятие
Целлюлозно-бумажная промышленность	ОАО «Архангельский ЦБК», ОАО «Соломбальский ЦБК», ОАО «Группа Илим «филиал в г.Коряжма (ОАО «Котласский ЦБК»), ОАО «Сокольский ЦБК», ООО «Сухонский ЦБК», г.Сокол ОАО «Монди Сыктывкарский ЛПК»
Электроэнергетика	ОАО «Архангельская ТЭЦ», ОАО «Вологодская ТЭЦ», МУЭП «Красавинские теплоэлектросети»
Деревообрабатывающая промышленность	ОАО «Соломбальский ЛДК», ОАО «Лесопромышленная компания «Сыктывкарский лесопильно-деревообрабатывающий комбинат» (ОАО «ЛПК СЛДК»), ООО «Завод ДВП», г. Емва; ЗАО «Жешартский фанерный комбинат», ООО «ЛПК «Полеко»
Промышленность строительных материалов	ОАО «Савинский цементный завод»
Лесохимическая промышленность	ОАО «Моломский лесохимзавод», п. Заря
Микробиологическая промышленность	ЗАО «Архангельский завод технических спиртов»
Металлообрабатывающая промышленность	ЗАО «Вологодский подшипниковый завод»
Транспорт	Различные предприятия водного транспорта, лодочные стоянки и т.п.
ЖКХ	МУП «Горводоканал» крупных городов и населенных пунктов

Предприятия теплоэнергетики представлены в основном теплоэлектростанциями, в том числе Архангельской и Вологодской ТЭЦ. Архангельская ТЭЦ расположена в устьевой части р. Северной Двины. В бассейне расположены также предприятия машиностроительной промышленности (ЗАО «Вологодский подшипниковый завод» Вологодская область), промышленности строительных материалов (ОАО «Савинский цементный завод», Архангельская область), предприятия пищевой промышленности и др. [256].

Сельское хозяйство является значимой отраслью экономики в бассейне. Потребление воды сельскохозяйственными предприятиями в бассейне р. Северной Двины незначительно – менее 1% от общего забора воды из природных водных объектов. Вода в основном расходуется на питьевые нужды людей и животных. Орошаемое земледелие в бассейне отсутствует, поскольку он расположен в зоне избыточного увлажнения. Вблизи основных городов в бассейне расположены крупные предприятия птицеводства и мясо-молочного животноводства.

Водные объекты бассейна являются средой обитания ценных и редких видов водной флоры и фауны. Любительское рыболовство распространено повсеместно и в основном приурочено к населенным пунктам. Рыбоводных заводов и предприятий, форелевых и других хозяйств, промышленного рыболовства на реках бассейна Северной Двины не имеется [256].

Широко осуществляется использование реки Северной Двины и ее основных притоков Вычегды, Сухоны, Юга, Ваги и Пинеги для водного транспорта. Водные пути бассейна проходят по территории Вологодской, Архангельской, Кировской областей и Республики Коми.

В настоящее время водные объекты в ***бассейнах рек Мезень и Кулой*** используются в целях хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения, рыболовства и рыбоводства, транспортировки людей и грузов и рекреации. Ранее в бассейне р. Мезени производилась заготовка леса и деревообработка и на данный момент эти отрасли промышленности исчерпали свой потенциал. По данным 2-ТП водхоз, в бассейне имеются порядка 15 отчитывающихся водопользователей. Суммарный забор воды из природных водных объектов составляет 1,0 млн. куб.м, в том числе 0,37 млн.куб.м – из поверхностных водных объектов. Основной объем забранной воды расходуется на питьевые нужды – 0,75 млн.куб.м. [252].

В зоне тайги ЕЧР располагается и ***верхняя часть бассейна Волги***. Здесь водные объекты полностью обеспечивают потребности коммунального и промышленного водоснабжения, являются водоприемниками сточных вод, обеспечивают выработку электроэнергии на гидростанциях и тепловых станциях, являются воднотранспортными путями, являются объектами рекреации и рыбного хозяйства для населения [248].

Река Волга (в верхнем течении), Горьковское водохранилище и притоки р. Волги являются источниками централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения населенных пунктов и производственных нужд объектов экономики. Забор (изъятие) водных ресурсов осуществляется из Горьковского водохранилища, р. Волги ниже гидроузла и её притоков. Вода используется для обеспечения производственных нужд (90% общего объема использования), хозяйственно-питьевых и сельскохозяйственных нужд (7,5% и 2,5% соответственно) [249].

Таким образом, основные источники загрязнения речных вод ЕЧР в зоне тайги представлены предприятиями лесной и энергетической отрасли, жилищно-коммунального хозяйства и различными предприятиями перерабатывающей промышленности.

4.3 Пространственно-временная изменчивость качества воды и состояния речных вод по гидрохимическим показателям

Оценка изменчивости качества речных вод проведена на основе многолетней гидрохимической информации и расчета значений УКИЗВ. Для оценки временной динамики рассмотрены класс качества и степень загрязненности воды исследуемых участков рек в зоне тайги с разбивкой информации по пятилетиям (за многолетний период с 1985 по 2015 гг.). Результаты обобщения изменчивости качества воды и степени ее загрязненности указывают на заметную пространственно-временную неоднородность степени загрязненности водной среды речных участков.

Качество воды и состояние загрязненности участков рек, протекающих в зоне тайги ЕЧР, за многолетний период можно характеризовать как (таблица 32):

- стабильно «очень загрязненные» и «загрязненные» (3-й класс качества воды) – это все речные участки Пинего-Мезенской провинции, большинство (около 80 %) участков рек Мезенско-Двинской и Тиманской провинций, а также для более половины речных участков Карельской, Онежско-Двинской, Печорской и Ветлужско-Унжинской провинций;

- переходные от «загрязненных» или «очень загрязненных» к «слабо загрязненным» – это половина речных участков Западно- и Восточно- Кольской провинций, а также часть речных участков Печорской провинции;

- переходные от «грязных» (4-й класс качества) к «очень загрязненным» (3-й класс качества) или наоборот – это часть участков рек Ветлужско-Унжинской провинции и более половины исследуемых речных участков Вятско-Камской провинции;

- стабильно «грязные» (4-й класс качества воды) – это незначительная часть речных участков практически во всех провинциях таежной зоны.

В таблице 32 для каждого исследуемого участка реки приведена тенденция изменения качества воды – улучшение, стабилизация или ухудшение. Анализ преобладающих тенденций качества воды рек внутри каждой ФГП и в целом внутри зоны тайги показал, что:

Таблица 32 – Пространственно-временная изменчивость степени загрязненности речных вод в зоне тайги ЕЧР (составлено по [63, 139, 149,150])

№ *	Река	Пункт	Степень загрязненности водной среды						Тенденция
			1985-1989	1990-1994	1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-2015	
III. Западно-Кольская провинция									
301	Лотта	устье	очень загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	слабо загрязненная	**улучшение**
302	Патсо-йоки	Борисоглебская ГЭС	очень загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	слабо загрязненная	слабо загрязненная	**улучшение**
303	Кола	исток	загрязненная	загрязненная	слабо загрязненная	слабо загрязненная	слабо загрязненная и загрязненная		**улучшение**
304	Кола	г. Кола	очень загрязненная	грязная	грязная	грязная	загрязненная	загрязненная	**улучшение**
305	Акким	п. Приречный	загрязненная	загрязненная	слабо загрязненная и загрязненная		слабо загрязненная и загрязненная		**улучшение**
306	Печенга	п. Корзуново	очень загрязненная	очень загрязненная	грязная	грязная	грязная	грязная	***ухудшение***
307	Ена	п. Ена	грязная	загрязненная	очень загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	**улучшение**
308	Кица	устье	очень загрязненная	загрязненная	загрязненная	слабо загрязненная	слабо загрязненная	слабо загрязненная	**улучшение**
309	Ковдора	г. Ковдор	грязная	грязная	очень загрязненная	грязная	грязная	загрязненная	нет
310	Нама-йоки	пгт Луостари	грязная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	стабилизация
311	Вите	устье	загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	слабо загрязненная	условно чистая	**улучшение**
312	Сергевань	устье	очень загрязненная	загрязненная	загрязненная	слабо загрязненная	слабо загрязненная и загрязненная		**улучшение**

№ *	Река	Пункт	Степень загрязненности водной среды						Тенденция
			1985-1989	1990-1994	1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-2015	
313	Вирма	с. Ловозеро	грязная	грязная	грязная	грязная	очень загрязненная	очень загрязненная	улучшение
314	Колос-йоки	Выше пгт Никель	загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	слабо загрязненная	слабо загрязненная	улучшение
315	Можель	г. Ковдор	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	стабилизация
IV. Восточно-Кольская провинция									
401	Поной	с. Краснощелье	очень загрязненная	загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	загрязненная	очень загрязненная	стабилизация
V. Карельская провинция									
501	Свирь	пгт Свирица	н.д.	загрязненная	слабо загрязненная	слабо загрязненная и загрязненная	слабо загрязненная	слабо загрязненная	стабилизация
502	Вуокса	г. Приозерск	н.д.	загрязненная	слабо загрязненная	слабо загрязненная и загрязненная	слабо загрязненная	слабо загрязненная	стабилизация
503	Кемь	г. Кемь	загрязненная	загрязненная	н.д.	загрязненная	загрязненная	н.д.	стабилизация
504	Лендерка	п. Лендеры	загрязненная	загрязненная	н.д.	загрязненная	загрязненная	н.д.	стабилизация
505	Кереть	Автодорожный мост	н.д.	слабо загрязненная	н.д.	загрязненная	слабо загрязненная	н.д.	нет
506	Олонка	г. Олонец	очень загрязненная	грязная	н.д.	очень загрязненная	загрязненная	загрязненная	нет
507	Кумса	г. Медвежьегорск	загрязненная	загрязненная	н.д.	загрязненная	загрязненная	н.д.	стабилизация
508	Волчья	д. Варшко	очень загрязненная	грязная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	стабилизация
509	Лососинка	г. Петрозаводск	загрязненная	загрязненная	н.д.	загрязненная	загрязненная	н.д.	стабилизация
VI. Онежско-Двинская провинция									

№ *	Река	Пункт	Степень загрязненности водной среды						Тенденция
			1985-1989	1990-1994	1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-2015	
601	Онега	г. Каргополь	грязная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	стабилизация
602	Сухона	г. Сокол	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	стабилизация
603	Емца	с. Сельцо	загрязненная	загрязненная	н.д.	загрязненная	загрязненная	н.д.	стабилизация
604	Волошка	п. Волошка	экстремально грязная	очень грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	улучшение / стабилизация
605	Вологда	г. Вологда	экстремально грязная	экстремально грязная	очень грязная	грязная	грязная	очень грязная	***ухудшения***
606	Кодина	р.п. Кодино	н.д.	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	стабилизация
607	Сямжена	с. Сямжа	загрязненная	загрязненная	н.д.	загрязненная	загрязненная	н.д.	стабилизация
608	Золотица	д. Верхняя Золотица	грязная	загрязненная	загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	стабилизация
609	Мудьюга	д. Патракеевская	очень загрязненная	загрязненная	загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	стабилизация
VII. Пинего-Мезенская провинция									
701	Северная Двина	с. Усть-Пинега	грязная	грязная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	**улучшение**
702	Мезень	с. Дорогорское	загрязненная	загрязненная	н.д.	загрязненная	загрязненная	н.д.	стабилизация
703	Пинега	с. Кулогоры	грязная	грязная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	загрязненная	улучшения
704		с. Усть-Пинега	грязная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	стабилизация
705	Кулой	д. Кулой	загрязненная	загрязненная	н.д.	загрязненная	загрязненная	н.д.	стабилизация
706	Пеза	д. Сафоново	грязная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	стабилизация
VIII. Мезенско-Двинская провинция									
801	Северная	д. Абрамково	н.д.	очень за-	очень загряз-	очень загряз-	очень за-	очень за-	стабилизация

№ *	Река	Пункт	Степень загрязненности водной среды						Тенденция
			1985-1989	1990-1994	1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-2015	
	Двина			грязненная	ненная	ненная	грязненная	грязненная	
802	Вычегда	г. Коряжма	н.д.	очень за-грязненная	очень загряз-ненная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	очень за-грязненная	стабилизация
803	Вычегда	д. Гавриловка	грязная	грязная	очень загряз-ненная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	загрязнен-ная	**улучшение**
804	Мезень	д. Макариб	н.д.	очень за-грязненная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	очень за-грязненная	стабилизация
805	Сухона	г. Тотьма	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	очень за-грязненная	нет
806	Вага	г. Вельск	грязная	очень за-грязненная	очень загряз-ненная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	очень за-грязненная	стабилизация
807	Вага	д. Глуборецкая	грязная	очень за-грязненная	грязная	грязная	грязная	грязная	стабилизация
808	Вымь	с. Весляна	н.д.	грязная	очень загряз-ненная	очень загряз-ненная	загрязненная и очень за-грязненная		**улучшение**
809	Луза	д. Верхолузье	загрязненная	загрязненная	н.д.	загрязненная	загрязненная	н.д.	стабилизация
810	Локчим	с. Лопыдино	грязная	грязная	очень загряз-ненная	очень загряз-ненная	загрязненная	загрязнен-ная	**улучшение**
811	Виледь	д. Инаевская	грязная	грязная	очень загряз-ненная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	очень за-грязненная	**улучшение**
812	Яренга	с. Тохта	грязная	грязная	очень загряз-ненная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	очень за-грязненная	стабилизация
813	Покшеньга	д. Сылога	грязная	грязная	очень загряз-ненная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	очень за-грязненная	стабилизация
814	Ледь	д. Зеленинская	грязная	грязная	очень загряз-ненная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	очень за-грязненная	стабилизация
815	Двиница	д. Котлакса	грязная	грязная	очень загряз-ненная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	очень за-грязненная	стабилизация
816	Большая	д. Буткан	грязная	грязная	очень загряз-	очень загряз-	очень за-	очень за-	стабилизация

№ *	Река	Пункт	Степень загрязненности водной среды						Тенденция
			1985-1989	1990-1994	1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-2015	
	Лоптюга				ненная	ненная	грязненная	грязненная	
817	Сура	д. Гора	грязная	грязная	очень загряз-ненная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	очень за-грязненная	стабилизация
IX. Тиманская провинция									
901	Печора	п. Троицко-Печорск	грязная	грязная	загрязненная	очень загряз-ненная	загрязненная	загрязнен-ная	**улучшение**
902	Вишера	п. Рябинино	грязная	грязная	грязная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	загрязнен-ная	**улучшение**
903	Цильма	с. Трусово	грязная	грязная	очень загряз-ненная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	слабо за-грязненная	**улучшение**
904	Колва	г. Чердынь	грязная	грязная	грязная	очень загряз-ненная	загрязненная	загрязнен-ная	**улучшение**
905	Ухта	г. Ухта	грязная	грязная	очень загряз-ненная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	очень за-грязненная	**улучшение**
906	Сойва	д. Нижняя Омра	н.д.	очень за-грязненная	очень загряз-ненная	загрязненная и очень за-грязненная	загрязненная	загрязнен-ная и очень загрязнен.	стабилизация
X. Печорская провинция									
1001	Печора	д. Якша	очень за-грязненная	очень за-грязненная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязнен-ная	стабилизация
1002	Печора	с. Усть-Цильма	грязная	грязная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	слабо за-грязненная	**улучшение**
1003	Уса	с. Усть-Уса	грязная	очень за-грязненная	очень загряз-ненная	грязная	загрязненная	загрязнен-ная	нет
1004	Ижма	г. Сосногорск	грязная	грязная	очень загряз-ненная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	очень за-грязненная	**улучшение**
1005	Илыч	п. Приуральск	грязная	грязная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	слабо за-грязненная	**улучшение**
1006	Кожва	с. Усть-Кожва	н.д.	грязная	очень загряз-	загрязненная	загрязненная	очень за-	**улучшение**

№ *	Река	Пункт	Степень загрязненности водной среды						Тенденция
			1985-1989	1990-1994	1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-2015	
					ненная			грязненная	
1007	Пижма	д. Боровая	загрязненная	загрязненная	н.д.	загрязненная	загрязненная	н.д.	стабилизация
XI. Ветлужско-Унжинская провинция									
1101	Вятка	г. Котельнич	н.д.	очень за-грязненная	очень загряз-ненная	загрязненная и грязная	очень за-грязненная	очень за-грязненная	стабилизация
1102	Ветлуга	пгт Ветлужский	н.д.	грязная	очень загряз-ненная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	очень за-грязненная	стабилизация
1103	Ветлуга	д. Марьино	н.д.	грязная	очень загряз-ненная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	очень за-грязненная	стабилизация
1104	Унжа	г. Мантурово	грязная	грязная	грязная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	очень за-грязненная	**улучшение**
1105	Большая Кокшага	г. Санчурск	н.д.	очень за-грязненная	очень загряз-ненная	очень загряз-ненная	загрязненная	слабо за-грязненная	**улучшение**
1106	Керженец	с. Хахалы	грязная	грязная	грязная	грязная	очень за-грязненная	очень за-грязненная	**улучшение**
1107	Немда	с. Селище	н.д.	очень за-грязненная	очень загряз-ненная	очень загряз-ненная	грязная и очень за-грязненная	очень за-грязненная	стабилизация
1108	Межа	д. Загатино	н.д.	очень за-грязненная	очень загряз-ненная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	загрязнен-ная	стабилизация
1109	Шача	г. Приволжск	н.д.	грязная	грязная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	очень за-грязненная	**улучшение**
1110	Сунжа	с. Новописцово	н.д.	грязная	грязная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	очень за-грязненная	**улучшение**
XII. Вятско-Камская провинция									
1201	Кама	г. Сарапул	н.д.	грязная	грязная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	очень за-грязненная	**улучшение**
1202	Кама	р.п. Тюлькино	н.д.	грязная	грязная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	загрязнен-ная	**улучшение**

№ *	Река	Пункт	Степень загрязненности водной среды						Тенденция
			1985-1989	1990-1994	1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-2015	
1203	Вятка	с. Красноглинье	н.д.	грязная	очень загряз-ненная	очень загряз-ненная	загрязненная	загрязнен-ная	стабилизация
1204	Вятка	г. Слободской	н.д.	грязная	очень загряз-ненная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	очень за-грязненная	стабилизация
1205	Чепца	с. Полом	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	очень за-грязненная	**улучшение**
1206	Кильмезь	д. Вичмарь	грязная	грязная	очень загряз-ненная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	очень за-грязненная	стабилизация
1207	Коса	с. Коса	н.д.	грязная	грязная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	очень за-грязненная	**улучшение**
1208	Иж	г. Ижевск, ниже	н.д.	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	стабилизация
1209	Обва	п. Рождественск	грязная	грязная	грязная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	загрязнен-ная	**улучшение**
1210	Иньва	г. Кудымкар	н.д.	грязная	очень загряз-ненная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	очень за-грязненная	стабилизация
1211	Иньва	д. Слудка	н.д.	грязная	грязная	загрязненная	загрязненная	загрязнен-ная	**улучшение**
1212	Велва	д. Ошиб	н.д.	грязная	грязная	загрязненная	очень за-грязненная	очень за-грязненная	**улучшение**
1213	Берсут	с. Урманчеево	н.д.	грязная	грязная	грязная	грязная	очень за-грязненная	**улучшение**

Примечание * - 301 – 3 - номер провинции, 01 – порядковый номер реки; н.д. – нет данных;

Цветовое обозначение класса качества воды (ККВ):

– 1-й ККВ – условно чистая

– 2-й ККВ – слабо загрязненная

– 3-й ККВ (разряды «А» и «Б») – загрязненная и очень загрязненная

– 4-й ККВ (разряды «А» и «Б») – грязная

– 4-й ККВ (разряды «В» и «Г») – очень грязная

– 5-й ККВ – экстремально грязная

1) большинство исследуемых участков рек имеют тенденцию к стабилизации (51,0 %) или улучшению качества воды (42,0 %) в многолетнем аспекте;

2) наибольшее количество участков рек с тенденцией к улучшению качества воды находятся в провинциях северной тайги – в Западно-Кольской (III), Тиманской (IX) и Печорской (X), а также в Ветлужско-Унжинской (XII) (рисунок 9);

3) тенденция к ухудшению качества воды наблюдается только на двух участках рек в зоне тайги (р. Печенга, пос. Крзуново и р. Вологда, г. Вологда).

Пространственное распределение количества (в %) речных участков в зоне тайги ЕЧР по степени загрязненности воды рек внутри физико-географических провинций приведено в таблице 33. В целом можно отметить, что в таежной зоне качество воды большинства речных участков характеризуется 3-м классом, что соответствует степени загрязненности воды «загрязненная» и «очень загрязненная», а при движении от северной к южной тайге возрастает доля участков рек, водная среда которых характеризуется как стабильно «загрязненная» или «грязная».

Таблица 33 – Распределение внутри провинций (доля в %) речных участков зоны тайги ЕЧР по степени загрязненности воды

Провинция	Качество воды – степень загрязненности			
	слабо загрязненная и загрязненная	загрязненная и очень загрязненная	загрязненная и грязная	стабильно грязная
Западно- и Восточно- Кольская	**50,0**	18,8	18,8	12,4
Карельская	33,3	**66,7**	–	–
Онежско-Двинская	–	**66,7**	–	33,3
Пинего-Мезенская	–	**100,0**	–	–
Мезенско-Двинская	–	**83,3**	–	26,7
Тиманская	–	**83,3**	–	26,7
Печорская	28,6	**57,1**	–	14,3
Ветлужско-Унжинская	–	**60,0**	40,0	–
Вятско-Камская	–	30,8	**61,5**	7,7
Всего	14,8	**56,8**	19,3	9,1



Обозначения: физико-географические провинции выделены римскими цифрами; природные зоны арабскими цифрами: 1 – зоны тундры и лесотундры. 2 – зона тайги, 3 – зона смешанных и широколиственных лесов, 4 – зоны лесостепей (4а) и степей (4б)

Рисунок 9 – Картосхема пространственного распределения преобладающих тенденций качества воды на участках рек физико-географических провинций и природных зон ЕЧР

Оценка многолетней (за период с 1985 по 2017 гг.) изменчивости состояния водной среды 93 речных участков, функционирующих в зоне тайги ЕЧР, проведена в соответствии с рекомендациями [175, 176] по таким гидрохимическим показателям, как легкоокисляемые органические вещества (ЛОВ по $БПК_5$) и азот аммонийный. Для оценки изменчивости состояния водной среды речных участков по гидрохимическим показателям рассчитаны модальные интервалы значений концентраций ЛОВ и азота аммонийного. Оценка состояния проводилась по критериям, приведенным в классификаторе состояния водных объектов (см. таблицу 7). Полученные результаты представлены в таблице Б.1 приложения Б.

Все исследуемые речные участки зоны тайги ЕЧР сгруппированы по различным категориям состояния их водной среды по ФГП от наиболее благополучных, находящихся в «естественном» и/или «равновесном» состоянии до участков рек, состояние которых оценивается как «напряженное» и/или переходное из «равновесного» или «напряженного» в «критическое». Распределение речных участков внутри провинций по категориям состояния водной среды по содержанию органических веществ приведено в таблице 34, по содержанию азота аммонийного – в таблице 35.

Состояние по содержанию в водной среде ЛОВ (по $БПК_5$)

В «естественном» состоянии по содержанию ЛОВ функционирует в зоне тайги ЕЧР 16 речных участков из общего количества объектов исследования в данной природной зоне, что составило 17,2 %, в «равновесном» – 25 участков (26,9 %) и в переходном из «естественного» в «равновесное» – 14 участков (15,0 %). Больше всего участков рек находятся переходном состоянии из «равновесного» в «напряженное» – 35, что составило более трети участков рек (37,6 %) (таблица 34). Выявлены единичные случаи, когда водная среда на участках рек находятся в «напряженном» состоянии (1 – р. Северная Двина, д. Абрамково) или переходном из «равновесного» в «критическое» (2 участка р. Волошка – пос. Волошка и г. Вологда) (см. таблицу Б.1 приложения Б).

Таблица 34 – Распределение внутри провинций зоны тайги ЕЧР речных участков (%) по категориям состояния водной среды по содержанию легкоокисляемых органических веществ

Провинция	Состояние водной среды рек					
	естест-венное	из естественно-го в равновес-ное	равновесное	из равновесно-го в напряжен-ное	напря-женное	из равновес-ного в крити-ческое
Западно- и Восточно-Кольская	**68,8**	31,2	–	–	–	–
Карельская	–	–	**55,6**	**44,4**	–	–
Онежско-Двинская	–	11,1	**33,3**	**33,3**	–	22,3
Пинего-Мезенская	–	–	16,7	**83,3**	–	–
Мезенско-Двинская	–	5,9	35,3	**52,8**	5,9	–
Тиманская	16,7	16,7	16,6	**50,0**	–	–
Печорская	14,3	14,3	14,3	**57,1**	–	–
Ветлужско-Унжинская	10,0	30,0	20,0	**40,0**	–	–
Вятско-Камская	15,4	15,4	**46,1**	23,1	–	–
Всего	17,2	**26,9**	15,0	**37,6**	1,1	2,2

В целом распределение речных участков в зоне тайги ЕЧР внутри физико-географических провинций по категориям состояния по содержанию органических веществ в воде приведено на рисунке 10. Можно отметить, что состояние большинства речных участков по содержанию в воде ЛОВ оценивается как «равновесное» или переходное из «равновесного» в «напряженное» состояние, а при движении на юг возрастает доля участков рек, водная среда которых находится в переходных состояниях. Участки рек в зоне тайги в «естественном» состоянии преобладают только на Кольском Севере (рисунок 10).

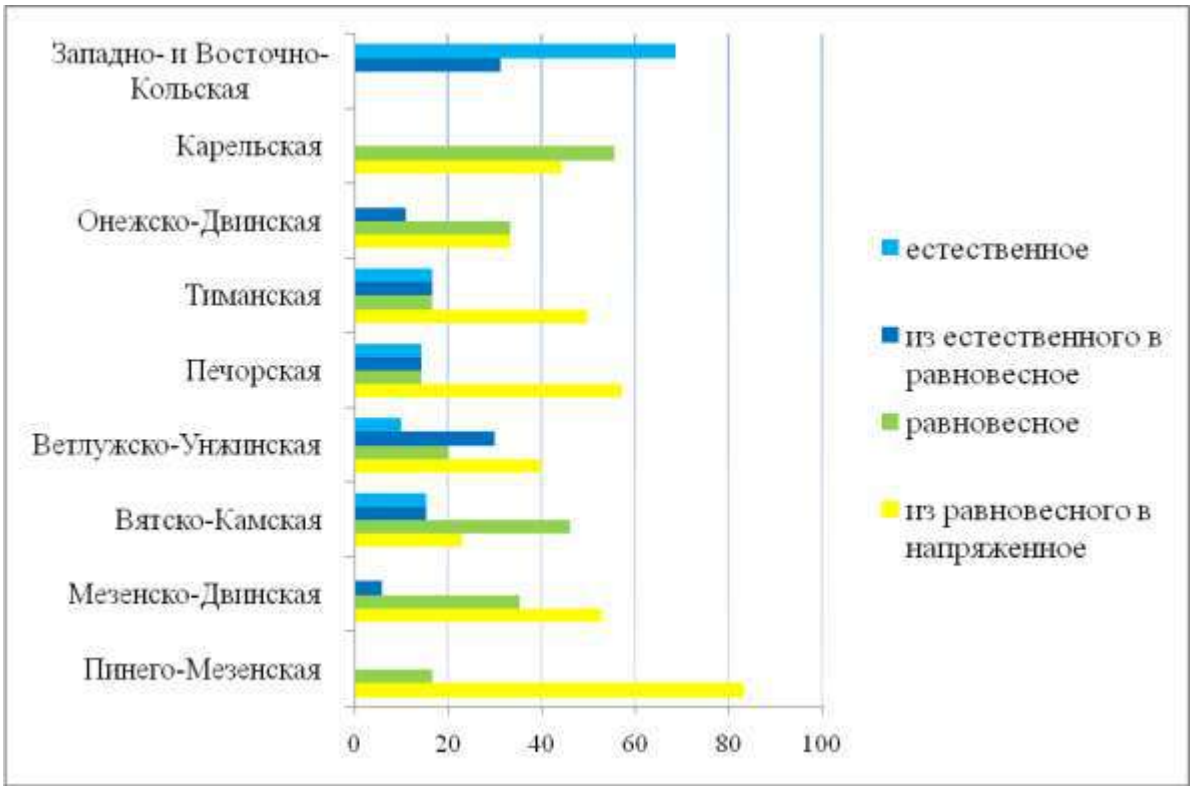


Рисунок 10 – Распределение количества (в %) речных участков в зоне тайги ЕЧР по разным категориям состояния по содержанию ЛОВ

Состояние по содержанию в водной среде азота аммонийного

В «естественном» состоянии по содержанию азота аммонийного функционирует в зоне тайги ЕЧР 28 речных участков из общего количества объектов исследования в данной природной зоне, что составило примерно 30%, а в «равновесном» – 62 участка (67 %). Таким образом, практически все участки рек по содержанию в речных водах азота аммонийного находятся в «естественном» или «равновесном» состоянии (таблица 35).

Речные участки, водная среда которых находится в переходных состояниях, присутствуют в единичных случаях: р. Вирма (с. Ловозеро) и 2 участка р. Волошка (п. Волошка и г. Вологда) (см. таблицу Б.1 приложения Б). В первом случае водная среда находится в переходном состоянии из «равновесного» в «напряженное». Река Вирма одна из немногих рек Кольского Севера, где отмечается тенденция ухудшения качества воды и усиления процессов «антропогенного эвтрофирования» на исследуемом участке реки [139].

Таблица 35 – Распределение внутри провинций речных участков (в %) зоны тайги ЕЧР по категориям состояния по содержанию азота аммонийного

Провинция	Состояние водной среды		
	естественное	равновесное	из равновесного в напряженное или критическое
Пинего-Мезенская	**100**	–	–
Западно- и Восточно-Кольская	**69**	**25**	6
Карельская	**44**	**56**	–
Онежско-Двинская	22	**56**	22
Мезенско-Двинская	29	**71**	–
Тиманская	–	**100**	–
Печорская	–	**100**	–
Ветлужско-Унжинская	–	**100**	–
Вятско-Камская	–	**100**	–
Всего	30	**67**	3

Во втором случае, водная среда на исследуемых участках р. Волошка находится в переходном состоянии из «равновесного» в «критическое». Это один из наиболее загрязненных притоков в бассейне р. Северная Двина. В целом р. Волошка находится в критическом состоянии, поскольку испытывает повышенную антропогенную нагрузку

от сброса сточных вод целлюлозно-бумажных комбинатов и сопутствующих им предприятий лесной промышленности [310].

Графически распределение речных участков зоны тайги ЕЧР по категориям состояния по содержанию азота аммонийного внутри физико-географических провинций приведено на рисунке 11.

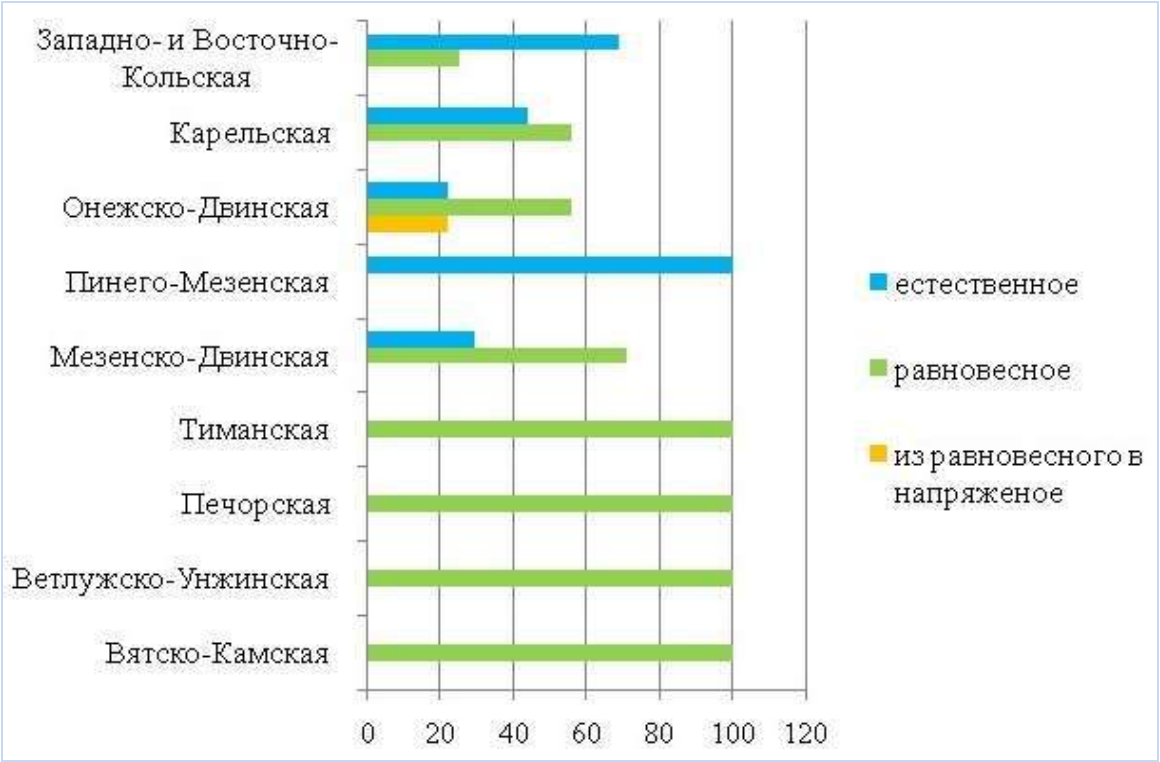


Рисунок 11 – Распределение количества (в %) речных участков в зоне тайги ЕЧР по разным категориям состояния по содержанию азота аммонийного

В целом можно отметить, что состояние большинства речных участков по содержанию азота аммонийного оценивается как благоприятное, поскольку практически все (90 из 93) участка рек находятся в «естественном или «равновесном» состоянии, а при движении с севера на юг таёжной зоны возрастает доля участков рек, водная среда которых находится в «равновесном» состоянии, что вполне логично и подчиняется законам гидрохимической зональности (при движении с севера на юг возрастает содержание главных ионов и биогенных веществ).

ГЛАВА 5 РЕЧНЫЕ ВОДЫ ЗОНЫ СМЕШАННЫХ И ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ ЕЧР

В зоне смешанных и широколиственных лесов в пределах ЕЧР располагается 7 физико-географических провинций, в пределах которых находится 65 исследуемых рек (82 пункта наблюдений). Речные участки распределены по провинциям следующим образом: в Прибалтийской – 18 участков рек, Верхне-Волжской – 15, Смоленско-Московской – 16, Мещерской – 13, Приокской – 9, Северо-Приволжской – 7 и в Днепровско-Деснинской – 4.

5.1 Тенденции изменчивости химического состава речных вод

Для выявления тенденций изменчивости химического состава речных вод необходимо рассчитать значения рангового коэффициента корреляции Кендалла между датами отбора проб и измеренными в эти дни концентрациями веществ или ионов [215]. Значения рангового коэффициента корреляции Кендалла для концентраций главных ионов (магния, кальция, хлоридов, сульфатов и гидрокарбонатов) в речных водах ЕЧР в зоне смешанных и широколиственных лесов приведены в таблице 36, для концентраций соединений азота, растворенного в воде кислорода и органических веществ – в таблице 37 и для концентраций растворенных форм тяжелых металлов – в таблице 38.

Тенденции изменчивости концентраций главных ионов в речных водах зоны смешанных и широколиственных лесов ЕЧР

Анализ изменчивости содержания главных ионов в речных водах зоны смешанных и широколиственных лесов ЕЧР позволил выявить 213 случаев тенденций: 35 по магнию, 42 по кальцию, 33 по гидрокарбонатам, 52 по хлоридам и 51 по сульфатам. Из числа обнаруженных статистически значимых тенденций по каждому ингредиенту значительно преобладают возрастающие для кальция (83 %) и гидрокарбонатов (85 %), убывающие – для сульфатов (71 %) и хлоридов (75 %). Для магния количество убывающих (17) и возрастающих (18) тенденций примерно одинаковое (таблица 36).

Таблица 36 – Значения коэффициента корреляции между датами отбора проб и концентрациями главных ионов для речных вод зоны смешанных и широколиственных лесов ЕЧР (составлено по [178])

Номер*	Река	Пункт	Коэффициент корреляции r для				
			магния	кальция	хлоридов	сульфатов	гидрокарбонатов
XIII. Прибалтийская провинция							
1301	Нева	г. Кировск	–	–	-0,18	0,15	0,16
1302		г. Санкт-Петербург	–	–	-0,29	–	–
1303	Свирь	г. Подпорожье	–	0,24	-0,21	0,28	0,19
1304		г. Лодейное Поле	–	0,19	-0,31	0,29	0,15
1305	Волхов	г. Кириши	–	0,12	–	–	–
1306	Великая	г. Опочка	0,20	–	-0,34	–	–
1307		г. Остров	–	–	-0,26	–	–
1308	Ловать	г. Великие Луки	0,14	–	-0,26	–	–
1309	Луга	г. Луга	–	–	–	–	–
1310	Паша	с. Часовенское	–	–	-0,32	0,27	–
1311	Плюсса	г. Сланцы	–	0,12	-0,20	–	0,15
1312	Оять	д. Акулова Гора	–	–	-0,26	0,23	–
1313	Оредеж	д. Моровино	–	–	-0,15	–	–
1314	Тихвинка	г. Тихвин	–	–	-0,26	–	–
1315	Тосна	п. Усть-Тосно	–	0,21	-0,15	–	0,21
1316	Большая Вишера	пгт Большая Вишера	–	–	-0,18	-0,24	0,16
1317	Кересть	г. Чудово	–	–	–	-0,27	–
1318	Мга	п. Павлово	-0,26	-0,18	-0,33	–	-0,15
XIV. Верхне-Волжская провинция							
1401	Молога	г. Устюжна	0,24	0,18	0,11	0,33	–
1402	Мста	г. Боровичи	0,21	–	-0,26	-0,30	0,20
1403	Кострома	г. Буй	–	-0,12	–	-0,09	–
1404		с. Исады	–	0,16	–	–	–
1405	Чагодоща	с. Мегрино	0,15	–	0,12	0,22	–
1406	Тверца	г. Тверь	-0,68	-0,63	-0,31	–	-0,70
1407	Которосль	г. Гаврилов Ям	–	–	–	0,11	–
1408	Дубна	п. Вербилки	-0,26	-0,11	–	-0,19	-0,12
1409	Андога	с. Никольское	–	–	0,21	0,27	–
1410	Сестра	с. Трехсвятское	-0,22	–	–	-0,29	–
1411	Корожечна	д. Сумы	–	–	–	–	–
1412	Ухра	д. Клочково	–	0,18	–	0,21	–
1413	Соть	д. Верхний	0,10	0,21	0,12	0,10	–

Номер*	Река	Пункт	Коэффициент корреляции r для				
			магния	кальция	хлоридов	сульфатов	гидрокарбонатов
		Жар					
1414	Меза	д. Ямково	0,13	-0,11	-0,12	–	–
1415	Ить	д. Нестерово	0,11	0,16	–	–	–
XV. Смоленско-Московская провинция							
1501	Волга	г. Ржев	–	–	-0,31	-0,43	–
1502	Ока	г. Калуга	-0,12	0,23	-0,10	-0,20	0,22
1503	Москва	д. Барсуки	-0,19	–	–	-0,20	–
1504		г. Звенигород	-0,11	–	–	-0,27	0,13
1505	Угра	п. Куровской	-0,06	0,23	-0,09	-0,19	0,22
1506	Протва	г. Верея	-0,20	–	–	-0,14	–
1507	Болва	г. Людиново	–	0,22	-0,14	-0,19	0,22
1508	Шаня	пгт Товарково	–	0,27	–	-0,12	0,27
1509	Истра	д. Павловская Слобода	-0,22	0,17	–	-0,18	0,12
1510	Колокша	с. Бабаево	–	–	–	–	–
1511	Вязьма	г. Вязьма	0,11	–	–	–	–
1512	Воря	г. Красноармейск	-0,24	–	–	-0,11	–
1513	Лопасня	г. Чехов	-0,16	–	–	-0,11	–
1514	Истья	с. Поповичи	0,14	0,16	-0,10	-0,13	–
1515	Серая	д. Новинки	–	–	–	-0,20	–
1516	Кунья	г. Краснозводск	-0,12	–	0,28	–	–
XVI. Мещерская провинция							
1601	Ока	г. Муром	0,10	–	-0,13	-0,16	–
1602		г. Рязань	0,13	0,17	-0,18	-0,24	0,22
1603	Клязьма	г. Ковров	–	–	–	-0,12	–
1604		г. Галицы	0,17	–	–	-0,22	–
1605		г. Павловский Посад	-0,22	–	–	-0,23	–
1606	Теша	д. Натальино	0,24	0,24	-0,21	–	–
1607	Пра	п. Брыкин Бор	–	0,31	-0,23	0,12	–
1608		с. Борисово	–	0,36	-0,21	–	0,11
1609	Уводь	г. Иваново	–	0,16	0,31	-0,20	0,14
1610		с. Вознесенье	–	0,17	–	-0,19	0,19
1611	Теза	г. Шуя	–	0,10	0,18	-0,21	–
1612	Ушна	с. Борисоглеб	–	–	0,13	-0,27	–
1613	Бужа	д. Избище	0,18	0,15	-0,12	0,28	0,14
XVII. Приокская провинция							
1701	Ока	г. Орел	–	0,11	-0,23	-0,23	0,12
1702		г. Алексин	–	–	-0,25	-0,14	-0,10

Номер*	Река	Пункт	Коэффициент корреляции r для				
			магния	кальция	хлоридов	сульфатов	гидрокарбонатов
1703		г. Белев	–	–	-0,32	-0,17	–
1704	Упа	д. Кулешево	–	–	-0,43	-0,14	0,16
1705	Свапа	сл. Михайловка	–	0,21	-0,12	0,16	0,13
1706		г. Дмитриев	–	–	-0,31	–	–
1707	Осетр	д. Городня	–	0,14	–	0,25	0,20
1708	Снежеть	г. Карачев	–	0,31	0,13	–	0,27
1709	Усожа	г. Фатеж	-0,12	0,11	-0,35	–	–
XVIII. Северо-Приволжская провинция							
1801	Сура	с. Порецкое	–	–	–	–	0,14
1802	Пьяна	с. Камкино	–	–	–	-0,19	-0,10
1803	Цивиль	д. Тувси	–	-0,10	–	-0,19	0,10
1804	Кудьма	д. Ефимьево	0,15	0,12	0,14	–	–
1805		г. Кстово	0,17	0,11	-0,20	–	–
1806	Кубня	с. Чутеево	–	–	-0,25	–	–
1807	Сундовик	д. Семово	–	-0,10	-0,33	-0,24	–
XIX. Днепровско-Деснинская провинция							
1901	Жиздра	г. Козельск	-0,10	0,24	–	-0,14	0,21
1902	Болва	г. Фокино	-0,20	0,11	0,21	–	–
1903	Навля	г. Навля	-0,12	0,17	0,22	–	0,17
1904	Унеча	г. Унеча	–	0,20	0,15	–	0,19

Примечание: *1301: 13 – номер провинции, 01 – порядковый номер реки в провинции.
Цветом выделены статистически значимые ранговые коэффициенты корреляции при $p<0,05$: зеленый цвет означает убывающую тенденцию, розовый – возрастающую.

Статистически значимые возрастающие и убывающие ***тенденции концентраций магния*** обнаружены в 35 водных объектах, что составляет 43 % от общего числа исследованных участков в зоне смешанных и широколиственных лесов ЕЧР. Среди основных тенденций в воде рек на долю убывающих приходится около половины случаев (51 %) (на 18 речных участков), оставшиеся 49 % обнаруженных тенденций относятся к возрастающим (17 участков рек).

В большинстве случаев (32 из 35) обнаруженная статистически значимая связь имеет слабую силу (в 53 % случаев прямая и в 47 % случаев обратная), однако в трех водных объектов она возрастает до средней (умеренной) и сильной (тесной). Обратная сильная (тесная) статистически значимая связь отмечена в р. Тверца (г. Тверь) (r =-0,68).

Обратная статистически значимая связь средней силы обнаруживается в рр. Дубна (п. Вербилки) и Мга (п. Павлово) с коэффициентом корреляции r = -0,26.

Статистически значимые возрастающие и убывающие ***тенденции концентраций кальция*** обнаружены в 42 водных объектах, что составляет 51 % от общего числа исследованных участков в зоне смешанных и широколиственных лесов ЕЧР. Среди основных тенденций в воде рек преобладают возрастающие (35 участков), что составляет 83 % от общего числа тенденций, оставшиеся 17 % обнаруженных тенденций относятся к убывающим.

В большинстве случаев (37 из 42) обнаруженная статистически значимая связь имеет слабую силу (в 84 % случаев прямая и в 16 % – обратная), однако в ряде водных объектов она возрастает до умеренной и сильной (тесной). Прямая статистически значимая связь средней силы обнаруживается в 4-х речных участках: рр. Шаня (пгт Товарково), Пра (п. Брыкин Бор и с. Борисово) и Снежеть (г. Карачев) с коэффициентом корреляции от 0,27 до 0,36. Обратная сильная (тесная) статистически значимая связь отмечена, опять-таки, в р. Тверца (г. Тверь) (r = -0,63).

Статистически значимые возрастающие и убывающие ***тенденции концентраций хлоридов*** обнаружены в 52 водных объектах, что составляет около 63 % от общего числа исследованных участков.

Среди основных тенденций хлоридов в воде рек в зоне смешанных и широколиственных лесов Европейской части России преобладают убывающие на 39 участках, что составляет 75 % от общего числа тенденций и, соответственно, оставшиеся 25 % обнаруженных тенденций относятся к возрастающим.

В большинстве случаев (63,5 %) выявленная статистически значимая связь имеет слабую силу (в 67 % случаев убывающая тенденция и в 33 % возрастающая). В зоне смешанных и широколиственных лесов не выявлено тенденций сильной связи по концентрациям хлоридов, однако значительную часть составляют участки рек, для которых характерная статистическая связь средней (умеренной) силы – для 19 из 52 участков рек (36,5 %).

Статистически значимые возрастающие и убывающие ***тенденции концентраций сульфатов*** обнаружены в воде 51 участка реки, что составляет около 62 % от общего числа исследованных участков в зоне. Среди основных тенденций сульфатов в воде рек преобладают убывающие (36 участков, что составляет 71 % от числа тенденций или

44 % от общего числа участков). Выявленные на оставшихся 15 участках рек тенденций относятся к возрастающим (таблица 36).

В большинстве случаев (74,5 %) выявленная статистически значимая связь имеет слабую силу (в 84 % случаев убывающая тенденция и в 6 % возрастающая). В зоне смешанных и широколиственных лесов также не выявлено тенденций сильной связи по концентрациям сульфатов, однако значительную часть составляют участки рек, для которых характерная статистическая связь средней (умеренной) силы – для 13 из 51 участка рек (24,5 %).

Статистически значимые возрастающие и убывающие ***тенденции концентраций гидрокарбонатов*** обнаружены для 33 участков рек, что составляет около 40 % от общего числа исследованных водных объектов. Среди основных тенденций в воде рек в зоне смешанных и широколиственных лесов значительно преобладают возрастающие (в 28 случаях из 33 или 85 % от общего числа тенденций). Оставшиеся 15 % обнаруженных тенденций относятся к убывающим (5 участков). Если рассматривать от общего количества участков рек, то по гидрокарбонатам доминируют случаи отсутствия тенденций (60 %).

В большинстве случаев (30 из 33) обнаруженная статистически значимая связь имеет слабую силу (в 87 % случаев прямая и в 13 % – обратная), однако в ряде водных объектов она возрастает до умеренной и сильной (тесной). Прямая статистически значимая связь средней силы обнаруживается в 2-х речных участках: рр. Шаня (пгт Товарково) и Снежеть (г. Карачев) с коэффициентом корреляции 0,27. Обратная сильная (тесная) статистически значимая связь отмечена на участке р. Тверца (г. Тверь) (r= -0,70) (таблица 36).

Тенденции изменчивости концентраций биогенных и органических веществ в речных водах зоны смешанных и широколиственных лесов ЕЧР

По изменчивости концентраций биогенных и органических веществ выявлено 314 тенденций из 492-х возможных случаев. Количество тенденций распределено равномерно между показателями (от 45 по нитратам до 55 по азоту аммонийному), за исключением нефтепродуктов, по которым обнаружено больше всего трендов (71).

Из числа обнаруженных статистически значимых тенденций преобладают убывающие для всех показателей, кроме ОВ (по ХПК). Снижение концентраций в многолетнем аспекте отмечено в 62 % случаях для азота аммонийного, 67 % – азота

нитратного, 60 % – растворенного в воде кислорода, 84 % – ЛОВ (по $БПК_5$) и 86 % – нефтепродуктов. Для трудноокисляемых органических веществ (по ХПК) количество убывающих и возрастающих тенденций определяется соотношением 40% : 60% (таблица 37).

Статистически значимые возрастающие и убывающие ***тенденции концентрации азота аммонийного*** обнаружены в 55 водных объектах, что составляет около 67 % от общего числа исследованных участков (таблица 37). Среди основных тенденций в воде рек представлены в основном убывающие (на 34 участках, что составляет 62 % от общего числа выявленных тенденций). Достаточно велика и доля возрастающих тенденций – около 38 %, обнаруженных для 21 речного участка.

В основном обнаруженные тенденции (41 из 55) имеют статистически значимую связь слабой силы (в 36,5 % случаев прямая и в 63,5 % – обратная), однако ряде водных объектов (для 14 участков рек) она возрастает до умеренной примерно с равномерным распределением: 6 тенденций возрастающие, 8 – убывающие. Тенденций с сильной статистически значимой связью для ионов аммония не отмечается.

Таблица 37 – Значения коэффициента корреляции между датами отбора проб и концентрациями биогенных и органических веществ, растворенного кислорода в речных водах зоны смешанных и широколиственных лесов ЕЧР [178]

Номер *	Река	Пункт наблюдений	Коэффициент корреляции r для					
			азота аммонийного	азота нитратного	кислорода	ОВ ($БПК_5$)	ОВ (ХПК)	нефтепродуктов
XIII. Прибалтийская провинция								
1301	Нева	г. Кировск	–	-0,11	-0,11	0,10	–	–
1302		г. Санкт-Петербург	–	–	-0,18	-0,10	–	-0,32
1303	Свирь	г. Подпорожье	0,12	0,13	–	–	м.д.	-0,29
1304		г. Лодейное Поле	–	–	–	–	м.д.	-0,40
1305	Волхов	г. Кириши	–	-0,22	-0,13	0,26	0,23	-0,25
1306	Великая	г. Опочка	0,24	-0,16	-0,32	-0,13	–	-0,33
1307		г. Остров	0,26	-0,13	–	–	–	-0,16
1308	Ловать	г. Великие Луки	0,26	-0,11	-0,30	-0,28	0,18	-0,41
1309	Луга	г. Луга	0,17	-0,12	-0,12	-0,19	–	-0,33

Номер *	Река	Пункт наблюдений	Коэффициент корреляции r для					
			азота аммонийного	азота нитратного	кислорода	ОВ ($БПК_5$)	ОВ (ХПК)	нефтепродуктов
1310	Паша	с.Часовенское	0,26	–	–	–	–	-0,27
1311	Плюсса	г. Сланцы	0,11	–	–	-0,35	0,11	-0,45
1312	Оять	д. Акулова Гора	0,19	–	–	–	–	-0,23
1313	Оредеж	д. Моровино	0,11	-0,18	-0,27	–	–	-0,31
1314	Тихвинка	г. Тихвин	0,25	–	–	–	0,22	-0,49
1315	Тосна	п. Усть-Тосно	–	–	–	–	0,10	-0,18
1316	Большая Вишера	пгт Большая Вишера	–	–	-0,16	–	0,25	-0,34
1317	Кересть	г. Чудово	–	–	–	0,14	0,27	м.д.
1318	Мга	п. Павлово	–	-0,19	–	-0,11	–	-0,17
XIV. Верхне-Волжская провинция								
1401	Молога	г. Устюжна	-0,18	–	-0,20	–	–	–
1402	Мста	г. Боровичи	–	–	–	–	–	-0,21
1403	Кострома	г. Буй	-0,11	-0,18	–	-0,12	0,10	-0,42
1404	Кострома	с. Исады	–	–	0,17	–	–	-0,51
1405	Чагодоща	с. Мегрино	-0,14	-0,16	-0,19	-0,13	–	–
1406	Тверца	г. Тверь	0,25	–	–	-0,17	0,19	–
1407	Которосль	г. Гаврилов-Ям	0,14	–	-0,17	-0,17	0,10	-0,58
1408	Дубна	п. Вербилки	-0,12	0,14	-0,09	–	0,10	-0,54
1409	Андога	с. Никольское	-0,22	–	-0,36	–	–	–
1410	Сестра	с. Трехсвятское	-0,16	0,19	–	–	0,21	-0,46
1411	Корожечна	д. Сумы	–	–	–	–	0,15	-0,36
1412	Ухра	д. Клочково	0,23	-0,15	-0,15	-0,20	0,15	-0,48
1413	Соть	д. Верхний Жар	–	–	-0,35	0,18	–	-0,53
1414	Меза	д. Ямково	–	-0,28	-0,25	–	–	-0,39
1415	Ить	д. Нестерово	0,12	–	-0,22	-0,21	–	-0,54
XV. Смоленско-Московская провинция								
1501	Волга	г. Ржев	0,26	–	–	-0,13	0,11	-0,18
1502	Ока	г. Калуга	-0,14	–	–	–	-0,16	0,43
1503	Москва	д. Барсуки	–	–	–	-0,21	–	-0,49
1504		г. Звенигород	-0,19	0,15	0,10	-0,12	0,10	-0,54
1505	Угра	п. Куровской	–	–	–	–	-0,28	0,44
1506	Протва	г. Верея	-0,21	–	0,10	-0,19	0,11	-0,55

Номер *	Река	Пункт наблюдений	Коэффициент корреляции r для					
			азота аммонийного	азота нитратного	кислорода	ОВ ($БПК_5$)	ОВ (ХПК)	нефтепродуктов
1507	Болва	г. Людиново	-0,21	0,23	–	–	-0,25	0,57
1508	Шаня	пгт Товарково	-0,11	0,14	-0,15	–	-0,25	0,40
1509	Истра	д. Павловская Слобода	-0,26	0,14	–	–	0,16	-0,50
1510	Колокша	с. Бабаево	–	-0,50	–	-0,42	–	-0,28
1511	Вязьма	г. Вязьма	-0,15	-0,12	–	–	–	0,21
1512	Воря	г. Красно-армейск	–	–	0,11	-0,35	–	-0,53
1513	Лопасня	г. Чехов	-0,16	–	–	-0,18	–	-0,56
1514	Истья	с. Поповичи	-0,17	–	0,30	0,39	-0,34	-0,37
1515	Серая	д. Новинки	–	-0,54	0,21	-0,21	–	-0,40
1516	Кунья	г. Краснозводск	-0,19	–	–	-0,25	–	-0,50
XVI. Мещерская провинция								
1601	Ока	г. Муром	–	-0,56	0,17	–	–	-0,27
1602		г. Рязань	-0,22	–	-0,16	-0,18	-0,23	-0,38
1603	Клязьма	г. Ковров	-0,11	-0,50	-0,20	-0,37	0,11	-0,35
1604		г. Галицы	–	-0,37	–	-0,31	–	-0,28
1605		г. Павловский Посад	–	0,29	–	-0,10	0,22	-0,48
1606	Теша	д. Натальино	-0,22	-0,15	0,15	-0,18	0,31	-0,48
1607	Пра	п. Брыкин Бор	–	–	0,19	-0,29	0,15	-0,22
1608		с. Борисово	-0,11	0,15	0,16	-0,22	0,12	-0,40
1609	Уводь	г. Иваново	0,18	-0,36	-0,28	–	-0,36	-0,36
1610		с. Вознесенье	-0,13	-0,32	0,20	-0,40	-0,44	-0,49
1611	Теза	г. Шуя	–	-0,40	0,19	-0,31	-0,27	-0,24
1612	Ушна	с. Борисоглеб	0,18	-0,45	0,10	–	–	-0,32
1613	Бужа	д. Избище	–	-0,30	0,11	0,28	0,11	-0,24
XVII. Приокская провинция								
1701	Ока	г. Орел	-0,12	–	-0,12	0,17	-0,19	0,27
1702		г. Алексин	-0,38	–	–	–	-0,23	-0,38
1703		г. Белев	-0,30	0,18	–	-0,10	-0,26	-0,36
1704	Упа	д. Кулешево	-0,31	-0,11	–	-0,12	-0,23	-0,39
1705	Свапа	сл. Михайловка	-0,35	0,23	-0,12	–	–	0,28
1706		г. Дмитриев	-0,35	0,20	0,18	-0,12	–	0,20
1707	Осетр	д. Городня	-0,18	–	–	-0,18	-0,13	-0,54
1708	Снежеть	г. Карачев	0,22	–	0,12	–	–	–

Номер *	Река	Пункт наблюдений	Коэффициент корреляции r для					
			азота аммонийного	азота нитратного	кислорода	ОВ ($БПК_5$)	ОВ (ХПК)	нефтепродуктов
1709	Усожа	г. Фатеж	-0,35	0,14	-0,10	–	–	0,17
XVIII. Северо-Приволжская провинция								
1801	Сура	с. Порецкое	–	-0,31	-0,11	-0,27	-0,09	-0,31
1802	Пьяна	с. Камкино	-0,16	-0,17	–	-0,31	0,32	-0,42
1803	Цивиль	д. Тувси	–	-0,24	-0,18	0,12	-0,17	-0,25
1804	Кудьма	д. Ефимьево	–	–	-0,11	-0,12	0,33	-0,29
1805		г. Кстово	-0,34	-0,11	0,08	-0,24	0,15	-0,30
1806	Кубня	с. Чутеево	-0,13	0,42	0,34	-0,42	-0,38	–
1807	Сундовик	д. Семово	-0,17	–	0,24	-0,18	0,33	-0,43
XIX. Днепровско-Деснинская провинция								
1901	Жиздра	г. Козельск	–	0,11	-0,10	–	-0,24	0,45
1902	Болва	г. Фокино	0,24	-0,16	–	-0,19	-0,30	–
1903	Навля	г. Навля	0,15	–	–	–	–	–
1904	Унеча	г. Унеча	0,15	–	–	–	–	–

Примечания: *1301: 13 – номер провинции, 01 – порядковый номер реки в провинции. Цветом выделены статистически значимые ранговые коэффициенты корреляции при $p<0,05$: зеленый цвет означает убывающую тенденцию, розовый – возрастающую;
м.д. – мало данных.

Статистически значимые возрастающие и убывающие ***тенденции концентрации азота нитратного*** обнаружены в 45 водных объектах, что составляет чуть более половины от общего числа исследованных участков рек (55 %). Среди основных тенденций нитратов в воде рек в зоне смешанных и широколиственных лесов Европейской части России бóльшую часть составляют убывающие (30 участков рек – 67 % от общего числа случаев) и меньшую – возрастающие тенденции, выявленные для 15 участков рек (33 %).

В большинстве случаев (31 из 45) обнаруженная статистически значимая связь имеет слабую силу (в 42 % случаев прямая и в 58 % – обратная), однако в ряде водных объектов она возрастает до умеренной и сильной (тесной). Статистически значимая связь средней силы обнаруживается в 10 речных участках и описывает она, в основном, убывающую зависимость концентрации во времени. Обратная сильная (тесная) статистически значимая связь отмечена на участках р. Колокша у с. Бабаево (r = -0,50),

р. Серая у д. Новинки (r = -0,54), р. Ока в районе г. Муром (r = -0,56) и р. Клязьма у г. Ковров (r = -0,50) (таблица 37).

Статистически значимые возрастающие и убывающие ***тенденции концентрации растворенного в воде кислорода*** в речных водах зоны смешанных и широколиственных лесов ЕЧР обнаружены в 47 случаях, что составляет около 57 % от общего числа исследованных участков в зоне (таблица 37). Среди основных тенденций в воде рек представлены в основном убывающие (на 28 участках, что составляет 60 % от общего числа выявленных тенденций). Достаточно велика и доля возрастающих тенденций – около 40 %, обнаруженных для 19 участков рек.

В основном обнаруженные тенденции (38 из 47) имеют статистически значимую связь слабой силы (в 36,5 % случаев прямая и в 63,5 % – обратная), однако в ряде водных объектов (для 9 участков рек) она возрастает до умеренной и характеризует, в основном, убывающую зависимость концентрации во времени. Тенденций с сильной статистически значимой связью для кислорода не отмечается.

Статистически значимые возрастающие и убывающие ***тенденции концентрации легкоокисляемых органических веществ (по $БПК_5$)*** обнаружены в 49 водных объектах, что составляет около 60 % от общего числа исследованных участков (таблица 37). Среди основных тенденций ЛООВ в воде рек представлены в основном убывающие (на 41 участке, что составляет 84 % от общего числа выявленных тенденций), оставшиеся 16 % обнаруженных тенденций – возрастающие.

В основном обнаруженные тенденции (34 из 49) имеют статистически значимую связь слабой силы (в 15 % случаев прямая и в 85 % – обратная, убывающая), однако ряде водных объектов (для 15 участков рек) она возрастает до умеренной примерно с неравномерным распределением: 2 тенденции возрастающие, 12 – убывающие. Тенденций с сильной статистически значимой связью для ЛОВ не отмечается.

Статистически значимые возрастающие и убывающие ***тенденции концентрации трудноокисляемых органических веществ (по ХПК)*** обнаружены в 47 водных объектах, что составляет 57 % от общего числа исследованных участков (таблица 37). Среди основных тенденций в воде рек представлены в основном возрастающие (на 28 участках, что составляет 60 % от общего числа выявленных тенденций). Достаточно велика и доля убывающих тенденций – около 40 %, обнаруженных для 19 участков рек в изучаемой зоне ЕЧР.

В основном обнаруженные тенденции (32 случая из 47) имеют статистически значимую связь слабой силы (в 69 % случаев прямая и в 31 % – обратная), однако ряде водных объектов (для 15 участков рек) она возрастает до умеренной примерно с равномерным распределением: 6 тенденций возрастающие, 9 – убывающие. Тенденций с сильной статистически значимой связью для ОВ не отмечается.

Статистически значимые возрастающие и убывающие ***тенденции концентрации нефтепродуктов*** обнаружены в воде 71 участка реки, что составляет большую часть исследованных водных объектов в зоне смешанных и широколиственных лесов (87 %). Среди основных тенденций нефтепродуктов в воде рек в данной зоне Европейской части России бóльшую часть составляют убывающие (на 61 участке – 86 % от общего числа случаев) и меньшую – возрастающие тенденции, выявленные только для 10 участков рек (14 %) (таблица 37). В большинстве случаев (46 из 71) обнаруженная статистически значимая связь имеет среднюю силу (умеренная связь) (в 13 % случаев прямая и в 87 % – обратная). Примерно поровну обнаружено тенденций со слабой (12 случаев) и сильной (тесной) связью (13 случаев), среди которых также доминируют убывающие зависимости.

Прямая статистически значимая связь тесной силы обнаруживается в одном объекте – р. Болва, г. Людиново (r = 0,57), что может указывать на локальный источник загрязнения речных вод нефтепродуктами на фоне отмечаемого снижения их концентраций в зоне смешанных и широколиственных лесов ЕЧР. Обратная сильная (тесная) статистически значимая связь отмечена на таких участках, как р. Кострома у с. Исады (r = -0,51), р. Которосль у г. Гаврилов-Ям (r = -0,58), р. Дубна в районе п. Вербилки (r = -0,54), р. Соть у д. Верхний Жар (r = -0,53), р. Ить на участке у д. Нестерово (r = -0,54), р. Москва в районе г. Звенигорода (r = -0,54), р. Протва у г. Верея (r = -0,55), р. Истра у д. Павловский Посад (r = -0,50), р. Воря, г. Красноармейск (r = -0,53), р. Лопасня у г. Чехов (r = -0,56), р. Кунья, г. Краснозаводск (r = -0,50) и р. Осетр у д. Городня (r = -0,54) (таблица 37).

Тенденции изменчивости содержания металлов в речных водах

В целом по металлам выявлено 208 статистически значимых тенденций из 280 возможных, что составляет 75 %. Количество тенденций распределено между металлами следующим образом: 72 тенденции выявлены по соединениям железа, 55 – меди, 45 – цинку и 37 – по марганцу. В основном преобладают убывающие тенденции

концентраций металлов в воде рек зоны смешанных и широколиственных лесов: для соединений меди – 76 %, цинка – 60 % и марганца 62 %. Для железа характерно примерно одинаковое количество убывающих и возрастающих тенденций, с преобладанием последних (53 %) (таблица 38).

За период исследований наблюдение за содержанием в речных водах было не столь регулярным, как по главным ионам, биогенным и органическим веществам и на ряде водных объектов иногда отсутствуют определения (н.д.) концентраций цинка и марганца или данных мало для проведения статистического анализа (м.д.).

Таблица 38 – Значения коэффициента корреляции между датами отбора проб и концентрациями соединений металлов в речных водах зоны смешанных и широколиственных лесов ЕЧР (составлено по [178])

Номер*	Река	Пункт	Коэффициент корреляции r для соединений			
			железа	меди	цинка	марганца
ОБЛАСТЬ СМЕШАННЫХ ЛЕСОВ						
XIII. Прибалтийская провинция						
1301	Нева	г. Кировск	0,12	–	-0,27	–
1302		г. Санкт-Петербург	0,16	-0,10	-0,23	–
1303	Свирь	г. Подпорожье	0,19	–	н.д.	–
1304		г. Лодейное Поле	0,18	-0,24	н.д.	-0,19
1305	Волхов	г. Кириши	0,11	–	м.д.	–
1306	Великая	г. Опочка	0,30	–	м.д.	–
1307		г. Остров	0,21	–	м.д.	–
1308	Ловать	г. Великие Луки	0,17	-0,12	м.д.	-0,13
1309	Луга	г. Луга	0,31	–	м.д.	–
1310	Паша	с. Часовенское	0,19	-0,15	н.д.	-0,13
1311	Плюсса	г. Сланцы	–	-0,13	м.д.	-0,18
1312	Оять	д. Акулова Гора	0,18	-0,12	н.д.	-0,11
1313	Оредеж	д. Моровино	0,28	–	м.д.	0,13
1314	Тихвинка	г. Тихвин	0,23	-0,20	н.д.	–
1315	Тосна	п. Усть-Тосно	0,12	–	-0,38	–
1316	Большая Вишера	пгт Большая Вишера	-0,17	-0,31	м.д.	-0,49
1317	Кересть	г. Чудово	0,15	–	м.д.	0,30
1318	Мга	п. Павлово	–	-0,11	-0,32	–
XIV. Верхне-Волжская провинция						
1401	Молога	г. Устюжна	-0,19	-0,17	–	н.д.

Номер*	Река	Пункт	Коэффициент корреляции r для соединений			
			железа	меди	цинка	марганца
1402	Мста	г. Боровичи	0,34	-0,12	м.д.	–
1403	Кострома	г. Буй	0,26	-0,32	-0,29	0,24
1404		с. Исады	0,22	-0,17	0,08	–
1405	Чагодоща	с. Мегрино	–	–	–	н.д.
1406	Тверца	г. Тверь	0,36	0,22	0,25	0,49
1407	Которосль	г. Гаврилов-Ям	0,13	-0,17	0,27	0,50
1408	Дубна	п. Вербилки	-0,33	-0,33	–	-0,26
1409	Андога	с. Никольское	-0,11	-0,29	-0,17	н.д.
1410	Сестра	с. Трехсвятское	-0,42	-0,21	–	м.д.
1411	Корожечна	д. Сумы	0,26	–	0,42	0,49
1412	Ухра	д. Клочково	0,31	-0,17	–	0,52
1413	Соть	д. Верхний Жар	0,27	-0,27	0,18	0,15
1414	Меза	д. Ямково	–	-0,33	-0,22	0,41
1415	Ить	д. Нестерово	0,29	-0,19	0,27	0,36
XV. Смоленско-Московская провинция						
1501	Волга	г. Ржев	0,35	–	м.д.	0,36
1502	Ока	г. Калуга	–	–	0,40	н.д.
1503	Москва	д. Барсуки	-0,24	-0,37	–	м.д.
1504		г. Звенигород	-0,42	-0,32	–	-0,14
1505	Угра	п. Куровской	0,10	0,14	0,38	н.д.
1506	Протва	г. Верея	-0,26	-0,27	–	-0,21
1507	Болва	г. Людиново	0,16	0,16	0,43	н.д.
1508	Шаня	пгт Товарково	–	0,25	0,38	н.д.
1509	Истра	д. Павловская Слобода	-0,39	-0,21	–	-0,22
1510	Колокша	с. Бабаево	-0,36	–	-0,12	м.д.
1511	Вязьма	г. Вязьма	0,27	0,22	м.д.	0,39
1512	Воря	г. Красноармейск	-0,33	-0,32	–	-0,15
1513	Лопасня	г. Чехов	-0,36	-0,31	–	-0,30
1514	Истья	с. Поповичи	-0,17	-0,17	-0,10	-0,11
1515	Серая	д. Новинки	-0,26	–	–	м.д.
1516	Кунья	г. Краснозводск	-0,47	-0,37	-0,15	-0,14
XVI. Мещерская провинция						
1601	Ока	г. Муром	-0,36	-0,16	-0,33	м.д.
1602		г. Рязань	–	-0,23	–	0,17
1603	Клязьма	г. Ковров	-0,24	–	-0,23	м.д.
1604		г. Галицы	-0,26	–	–	м.д.
1605	Клязьма	г. Павловский Посад	-0,43	-0,34	–	0,17

Номер*	Река	Пункт	Коэффициент корреляции r для соединений			
			железа	меди	цинка	марганца
1606	Теша	д. Натальино	-0,25	0,25	0,10	-0,28
1607	Пра	п. Брыкин Бор	0,11	-0,27	0,15	–
1608		с. Борисово	0,14	-0,10	0,09	–
1609	Уводь	г. Иваново	–	–	–	м.д.
1610		с. Вознесенье	-0,45	–	-0,24	м.д.
1611	Теза	г. Шуя	-0,18	–	–	м.д.
1612	Ушна	с. Борисоглеб	-0,33	0,14	–	м.д.
1613	Бужа	д. Избище	-0,17	–	-0,37	м.д.
XVII. Приокская провинция						
1701	Ока	г. Орел	-0,07	0,16	0,20	н.д.
1702		г. Алексин	-0,12	–	-0,12	-0,37
1703		г. Белев	-0,22	0,20	-0,10	-0,30
1704	Упа	д. Кулешево	-0,14	-0,10	-0,11	-0,17
1705	Свапа	сл. Михайловка	0,13	–	-0,11	м.д.
1706		г. Дмитриев	0,12	-0,21	-0,11	м.д.
1707	Осетр	д. Городня	-0,36	-0,45	-0,13	-0,42
1708	Снежеть	г. Карачев	–	-0,15	–	н.д.
1709	Усожа	г. Фатеж	0,11	-0,17	-0,12	м.д.
XVIII. Северо-Приволжская провинция						
1801	Сура	с. Порецкое	-0,12	–	-0,13	м.д.
1802	Пьяна	с. Камкино	0,15	0,25	-0,21	-0,29
1803	Цивиль	д. Тувси	0,12	–	-0,15	м.д.
1804	Кудьма	д. Ефимьево	-0,38	0,32	0,12	-0,22
1805		г. Кстово	-0,34	0,32	0,16	-0,23
1806	Кубня	с. Чутеево	-0,54	–	0,13	м.д.
1807	Сундовик	д. Семово	-0,14	0,29	–	-0,25
XIX. Днепровско-Деснинская провинция						
1901	Жиздра	г. Козельск	–	0,12	0,39	н.д.
1902	Болва	г. Фокино	0,31	–	–	н.д.
1903	Навля	г. Навля	0,22	-0,25	-0,28	н.д.
1904	Унеча	г. Унеча	0,17	-0,15	-0,20	н.д.

Примечание: *1301: 13– номер провинции, 01 – порядковый номер реки в провинции; Цветом выделены статистически значимые ранговые коэффициенты корреляции при p<0,05: зеленый цвет означает убывающую тенденцию, розовый – возрастающую;
м.д. – мало данных, н.д. – нет данных.

Статистически значимые возрастающие и убывающие ***тенденции концентраций соединений железа*** обнаружены в 72 водных объектах, что составляет около 88 % от

общего числа исследованных участков в зоне (таблица 38). Основные тенденции распределены примерно поровну: для 39 участков рек (или 54 % от общего их числа в зоне) наблюдаются возрастающие тенденции, а для 33 – убывающие (46 %).

По силе обнаруженные статистически значимые тенденции характеризуются, как имеющие связь слабой силы (38 из 72) или умеренной (33 из 72). При этом тенденции слабой силы распределены следующим образом: 66 % случаев возрастающий тренд (прямая связь) и 34 % – обратная убывающая связь. Основные тенденции средней (или умеренной) силы распределены более равномерно, но с преобладанием убывающих тенденций (для 19 участков, 58 % от числа случаев трендов данной силы), а возрастающие тенденции средней силы характерны для 14 водных объектов (42 %). Тесная связь характерна только для одной убывающей тенденции в реке Кубня (с. Чутеево) (r = -0,54).

Статистически значимые возрастающие и убывающие ***тенденции концентраций соединений меди*** обнаружены в 55 водных объектах, что составляет около 67 % от общего числа исследованных участков в зоне. Основные тенденции в воде рек преимущественно убывающие и составляют 76 % от числа случаев (для 42 участков), а для 13 участков (24 %) – возрастающие.

По силе обнаруженные статистически значимые тенденции характеризуются, как имеющие связь слабой силы (33 из 55) или умеренной (22 из 55). В основном обнаруженные статистически значимые связи слабой и умеренной силы являются убывающими в 75 % и 73 % случаев соответственно. Тесные обратные связи временной зависимости концентрации меди в воде не характерны для исследуемых водных объектов (таблица 38).

Концентрации соединений цинка за период с 1985 по 2017 гг. определялись в воде только 65 участков рек зоны смешанных и широколиственных лесов Европейской части России. Статистически значимые возрастающие и убывающие тенденции концентраций соединений цинка обнаружены в 45 водном объекте, что составляет около 69 % от общего их числа в изучаемой природной зоне. Преобладают убывающие тенденции концентраций соединений цинка в воде рек. Они выявлены на 27 участках (60 %). Возрастающие тенденции из общего числа случаев обнаружены для 18 исследованных участков, что соответственно составляет 40 %.

Обнаруженные статистически значимые тенденции по силе характеризуются, как имеющие слабую связь (29 из 45) или умеренную (16 из 45). В основном обнаруженные статистически значимые связи слабой силы являются убывающими в 69 % случаев, а связи умеренной силы, напротив, - возрастающими более. Чем в половине случаев (56 %). Тесные обратные связи временной зависимости концентрации цинка не характерны для данных водных объектов (таблица 38).

Концентрации соединений марганца за период с 1985 по 2015 гг. определялись в воде только 51 участков рек зоны смешанных и широколиственных лесов Европейской части России. Статистически значимые возрастающие и убывающие тенденции концентраций соединений марганца обнаружены в 37 водном объекте, что составляет около 72 % от общего их числа в изучаемой природной зоне. Незначительно преобладают убывающие тенденции концентраций, они выявлены на 23 речных участках (62 %). Возрастающие тенденции из общего числа случаев обнаружены для 14 исследованных участков, что соответственно составляет 38 %.

По силе обнаруженные статистически значимые тенденции характеризуются, как имеющие связь слабой силы (19 из 37) или умеренной (16 из 37). При этом тенденции слабой силы распределены следующим образом: 26 % случаев возрастающий тренд (прямая связь) и 74 % – обратная убывающая зависимость. Основные тенденции средней (или умеренной) силы распределены более равномерно, но с преобладанием убывающих тенденций (для 9 участков, 56 % от числа случаев трендов данной силы), а возрастающие тенденции средней силы характерны для семи водных объектов (44 %). Сильная (тесная) связь характерна только для двух возрастающих тенденций – это р. Которосль, г Гаврилов-Ям (r = 0,50) и р. Ухра, д. Клочково (r = 0,52) (таблица 38).

В целом по всем водных объектам зоны смешанных и широколиственных лесов и всем гидрохимическим показателям обнаружено 736 статистически значимых трендов: 293 возрастающих и 443 убывающих тенденций концентраций химических веществ из 1182 возможных случаев. Соответственно убывающих тенденций выявлено больше, чем возрастающих, а в 38 % случаях четких статистически значимых тенденций не было обнаружено.

В абсолютных значениях больше всего тенденций обнаружено в изменении содержания в речных водах соединений железа (72) и нефтепродуктов (71), соединений меди и нитратов (по 55), хлоридов (52) и сульфатов (51). То есть в водной среде более

половины исследуемых участков рек идут значимые изменения концентраций именно этих веществ (возрастающие или убывающие) – трансформация компонентного состава воды (таблица 38).

Если анализировать количественное распределение тенденций по каждому водному объекту, то можно сгруппировать их на три группы. Первую группу составляют участки рек, для которых из 15 гидрохимических показателей выявлено меньше всего тенденций в изменчивости химического состава воды. Таких участков оказалось 11 и для них характерно наличие 5-6 статистически значимых тенденций, что может свидетельствовать об относительной устойчивости химического состава воды. По пять тенденций выявлено для участков рек Великая (г. Остров), Кересть (г. Чудово), Корожечна (д. Сумы) и Колокша (с. Бабаево). По шесть тенденций из 15 возможных обнаружено для следующих речных участков – рр. Луга (г. Луга), Тихвинка (г. Тихвин), Кострома (с. Исады), Москва (д. Барсуки), Серая (д. Новинки), Клязьма (г. Галицы) и Снежеть (г. Карачев). Практически для всех этих участков рек выявлены убывающие тенденции по нефтепродуктам.

Вторую и третью группу участков рек составили те, у которых количество выявленных тенденций – составило 7-9 и 10-13 из 15 гидрохимических показателей. Таких водных объектов в зоне смешанных и широколиственных лесов оказалось 38 и 33 соответственно. Большое количество убывающих или возрастающих тенденций, в свою очередь, может говорить о происходящей трансформации компонентного состава воды и неустойчивости его во времени.

Выделим только речные участки с наибольшим количеством трендов. Так по 12 тенденций выявлено на участках рек Дубна (п. Вербилки), Москва (г. Звенигород), Пра (с. Борисово), Бужа (д. Избище), Ока (г. Орел), Упа (д. Кулешево), по 13 – рек Истья (с. Поповичи), Ока (г. Рязань), Теша (д. Натальино и г. Кстово). Для большинства этих участков рек выявлены убывающие тенденции по хлоридам, азоту аммонийному, нефтепродуктам и соединениям железа, а возрастающие – по магнию, кальцию и гидрокарбонатам. По остальным гидрохимическим показателям тенденции имеют разнонаправленный характер.

Распределение основных тенденций изменчивости концентраций химических веществ в речных водах зоны смешанных и широколиственных лесов ЕЧР приведено на рисунке 12. Выявлен разнонаправленный характер изменчивости тенденций. Так доля

убывающих тенденций меняется от 6 % (гидрокарбонаты) до 74 % (нефтепродукты), возрастающих – от 12 % по нефтепродуктам до 48 % по соединениям железа. Доля водных объектов, в которых по тем или иным показателям тренд не выявлен, меняется в процентном отношении от 12 % по содержанию соединений железа до 60 % по содержанию гидрокарбонатов в речных водах зоны смешанных и широколиственных лесов ЕЧР (рисунок 12).

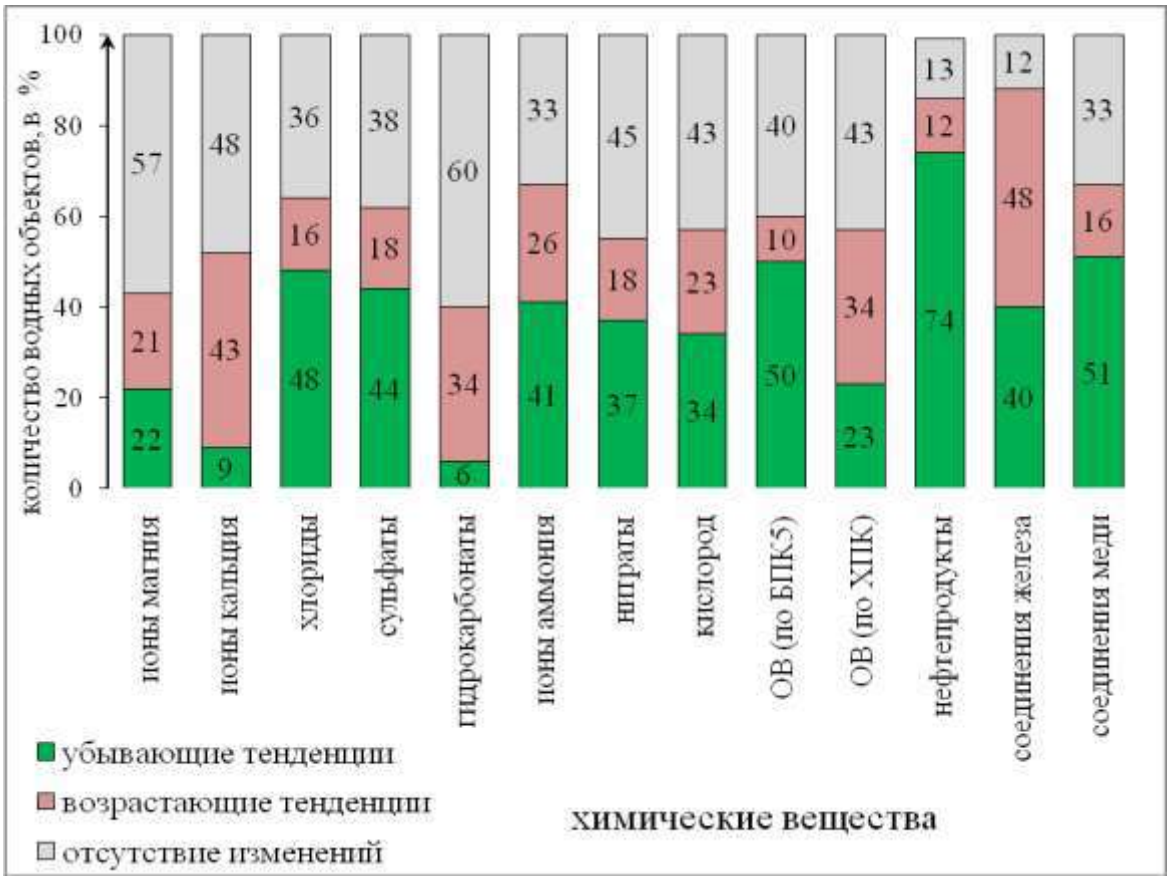


Рисунок 12 – Распределение тенденций изменчивости концентраций химических веществ в речных водах зоны смешанных и широколиственных лесов ЕЧР

Исследуемые гидрохимические показатели можно разделить на группы:

1) для ионов магния (57 %) и гидрокарбонатов (60 %) наблюдается преобладание случаев отсутствия трендов;

2) для ионов магния и соединений железа в речных водах зоны смешанных и широколиственных лесов характерно примерное равенство убывающих и возрастающих трендов;

3) для сульфатов (44 %), хлоридов (48 %), азота аммонийного (41 %), нитратов (37 %), ЛОВ (по $БПК_5$) (50 %), нефтепродуктов (74 %), растворенного в воде кислорода (34 %) и соединений меди (51 %) выявлено преобладание убывающих тенденций;

4) в изменчивости концентраций ионов кальция (43 %) и органического вещества по ХПК (34 %) выявлена высокая доля возрастающих трендов (на 48 % участков рек).

5.2 Основные источники загрязнения речных вод

К основным источникам загрязнения речных вод в зоне смешанных и широколиственных лесов ЕЧР традиционно относятся предприятия обрабатывающей, топливно-энергетической, машиностроительной и других отраслей промышленности. Кроме выше перечисленного, на состояние рек влияют и другие физические виды воздействий, такие как строительство плотин и других конструкций в русле реки, водозабор на промышленные, муниципальные и другие нужды, сброс промышленных, сельскохозяйственных и муниципальных отходов, навигация и землечерпательные работы, разработка речных донных отложений (добыча стройматериалов) [128].

В пределах данной зоны ЕЧР полностью или частично располагаются водосборы таких крупных рек Волга, Кама, Ока и др. Как уже отмечалось выше, водные объекты ***бассейна Волги*** полностью обеспечивают потребности коммунального и промышленного водоснабжения, являются водоприемниками сточных вод, обеспечивают выработку электроэнергии на гидростанциях и тепловых станциях, являются воднотранспортными путями, являются объектами рекреации и рыбного хозяйства [248].

В бассейне р. Кама в структуре промышленного производства основное место занимают добыча нефти, газа, каменного угля, калийной и поваренной соли, черная и цветная металлургия, машиностроение, химическая промышленность. Особо развит топливно-энергетический комплекс. Существенную долю промышленного производства составляет продукция легкой промышленности. Сельское хозяйство представлено следующими отраслями: животноводство, зерновые, овощеводство. Доля

сельхозпродукции, производимой в субъектах бассейна р. Кама, составляет более четверти от общего объема сельскохозяйственного производства РФ [250].

В бассейне Камы основной водозабор осуществляют предприятия: из самой реки Кама – ОАО «ТГК № 9» Филиал Закамская ТЭЦ-5 и ОАО «Целлюлозно-бумажный комбинат Кама» в пределах г. Краснокамск, ООО «Новогор-Прикамье», ОАО «ТГК-9» Филиал Чайковская ТЭЦ г. Чайковский, ЗАО «Челныводоканал»; ОАО «Кировские коммунальные системы» г. Киров; ОАО «Пермская ГРЭС», Яйвинская ГРЭС-16; из поверхностных вод бассейна р. Чусовая – МУП «Водоканал» г. Екатеринбург для водоснабжения областного центра и др. В бассейне р. Белая наибольший забор воды приходится предприятия: Уфимская ТЭЦ-2 ООО «Башкирская генерирующая компания» г. Уфа, МУП «Уфаводоканал», ОАО «Сода» г. Стерлитамак. Значительное воздействие испытывают реки бассейна за счет развития водного транспорта. Сеть водных путей Камского бассейна включает в себя р. Кама и 19 притоков первого порядка, четыре из них являются крупными реками (Белая, Вятка, Чусовая и Вишера), остальные 15 судоходных притоков – небольшие реки [250].

Источниками загрязнения речных вод бассейна Камы являются и предприятия, занимающиеся добычей полезных ископаемых. Большинство месторождений песчано-гравийных смесей Пермского края приходится на долину р. Камы, включая ее крупные притоки, где полезные ископаемые представлены аллювием русла, пойм и террас. Проведенные исследования и оценка по нескольким водным объектам Камского бассейна Пермского края показали, что фактические объемы извлеченных песчано-гравийных смесей более чем на порядок превышают продекларированные объемы добычи. Русловые месторождения алмазов на территории Пермского края известны в Красновишерском и Горнозаводском районах. Большинство месторождений россыпей золота находятся в верховье реки Койвы в Горнозаводском районе [250].

Аналогичные крупные русловые месторождениями песчано-гравийных смесей расположены в руслах притоков Камы в пределах различных территорий Кировской области (в долине р. Вятки и др. водотоков), Удмуртской республики (на участках рек Кама и Чепца), Республики Татарстан (на участках рек Кама и Белая) и Республики Башкортостан (месторождения песчано-гравийной смеси находятся по берегам рр. Белая, Уфа, Дема, Ик). Наиболее крупными месторождениями песчано-гравийных смесей в русле р. Кама являются: Бетькинское (Тукаевский район) и Котловское

(Елабужский район). Это крупнейшие из разведанных на реках России месторождения с достигнутой глубиной разрабатываемого пласта до 40 метров [250]. Бессистемная добыча песчано-гравийных смесей оказывает негативное воздействие на водные объекты. Из-за расширения русла уровень воды в реке понижается, повреждается водная и береговая растительность, снижается устойчивость берегов. Это, в свою очередь, ускоряет процессы заиливания русла, что отрицательно сказывается на качестве воды и пропускной способности русла.

Масштабы хозяйственного освоения речного ***бассейна реки Ока*** достаточно высоки и обусловлены выгодными природно-климатическими условиями, выгодным географическим положением и высокой плотностью населения. Сильное антропогенное воздействие на реки бассейна Оки и большие объемы забора воды обусловливают отрицательные последствия для качества воды.

Как было показано ранее, «ведущая роль при заборе воды принадлежит поверхностным источникам в бассейнах р. Москвы (98 %) и р. Оки (80 %). <...> Забор воды из природных источников за 2017 год сократился на 2041,1 млн м^3 по сравнению с 2000-ми годами. Также уменьшился и сброс сточных вод в поверхностные водные объекты» [53, с. 42].

Выпуски сточных вод в бассейне р. Ока имеют 1229 предприятий, за сброс загрязняющих веществ отчитывается 1119 предприятий, из них предприятий ЖКХ – 355, промышленности – 571, сельского хозяйства – 103, прочих отраслей – 90 [253]. Как по объему загрязненных вод, так и по массе загрязняющих веществ основным загрязнителем является жилищно-коммунальное хозяйством (ЖКХ). По основным загрязняющим веществам (БПК, взвешенные вещества, азот аммонийный, нитраты, нитриты, цинк, фосфор общий, хлориды, сульфаты) на долю ЖКХ приходится от 70 % до 95 % массы загрязнения. По отдельным загрязняющим веществам (нефтепродукты, железо, медь), значительна роль других источников, в основном, транспорта.

Более 80 % таких загрязняющих веществ как нефтепродукты (76 %), азот аммонийный (85 %), нитриты (89 %) поступают с территории Москвы и Московской области. В значительных объемах от общей массы поступают с этой территории, также взвешенные вещества (69 %), СПАВ (55 %), железо (71 %), фосфор общий (71 %) [254].

Жилищно-коммунальное хозяйство является самым крупным водопотребителем в бассейне р. Ока. В отдельные годы предприятиями ЖКХ осуществляется забор воды в

объеме до 2516 млн. м^3, что составляет 51% от общего забора по бассейну. Помимо предприятий жилищного и коммунального хозяйства к отрасли ЖКХ отнесены также предприятия всех видов бытового обслуживания, объекты здравоохранения, образования, культуры и искусства, науки и научного обслуживания, пенсионного обслуживания, управления, финансы. В целом по бассейну поверхностные и подземные водные объекты являются практически равноценными источниками водоснабжения ЖКХ, объем их них составляет соответственно 49,6 % и 50,4 %. В разрезе отдельных территорий это соотношение не выдерживается [254].

Перечень наиболее крупных предприятий-водопотребителей с забором воды более 40 млн. м^3 каждое представлен в таблице 39. Это Водоканалы областных центров и 7 предприятий, на долю которых приходится около 20% от суммарного забора воды по отрасли.

Таблица 39 – Крупнейшие предприятия (водопотребители) в бассейне р. Ока [254]

Наименование предприятия	Объем забора воды, тыс. м^3
МУП «Владимирводоканал»	48886,8
ОАО Нижегородский водоканал, г. Н.Новгород Канавинский р-н	208098,8
Дзержинский филиал ОАО «ТГК-6» (Дзержинская ТЭЦ г. Дзержинск)	215065,0
ООО Автозаводская ТЭЦ г. Нижний Новгород Автозаводский район	221710,4
ООО Заводские сети ОАО ГАЗ г. Нижний Новгород Автозаводский район	65876,6
Ивановский филиал ОАО «ТГК-6» ИвТЭЦ-2	58409,1
УМП «Водоканал» г. Иваново	72983,9
ООО «Калугаоблводоканал», г. Калуга	57075,8
ТЭЦ-9, г. Москва	123172,4
ТЭЦ-12, г. Москва	269881,0
АМО-ЗИЛ-ТЭЦ, г. Москва	47688,0
Рублевская водопроводная станция, г. Москва	399516,6
Западная водопроводная станция, г. Москва	479683,2

Наименование предприятия	Объем забора воды, тыс. $м^3$
Каширская ГРЭС-4 филиал ОАО «ОГК-1», г. Кашира	492440,9
ТЭЦ-22 филиал ОАО «Мосэнерго», п. Дзержинский	62462,2
МПП ВКХ «Орелводоканал», г. Орел	46160,0
МП «Водоканал города Рязани», г. Рязань	72526
ф-л ОАО «Тамбовские коммунальные системы», «Тамбовводоканал»	40718,3
ОАО НАК «АЗОТ» Новомосковский р-н, Тульской	49490
МУП «Тулагорводоканал», г. Тула	88849,4

В целом по бассейну Оки на производственные нужды промпредприятий расходуется около 94% общего объема используемой в отрасли воды и только около 4 % на хозяйственно-питьевые нужды населения, остальная вода используется на прочие нужды, включая сельхозводоснабжение и прудовое рыбное хозяйство [254].

Антропогенная нагрузка по объемам сточных вод в бассейне р. Оки, согласно данным Е.А. Абрамовой [3], характеризуется как умеренная. Наибольшей нагрузкой в бассейне Оки отличается водосбор реки Москвы («очень большая» антропогенная нагрузка). Такая ситуация сложилась «из-за влияния крупных городов с развитой промышленностью. При этом общий объем сточных вод, отводимых в реку Москва и ее притоки, превышает среднегодовой сток» [53, с. 47]. Такая высокая нагрузка влияет не только на качество речных вод, но и нарушает естественные закономерности функционирования экосистемы реки, особенно в зоне влияния крупных городов [210].

5.3 Пространственно-временная изменчивость качества воды и состояния речных вод по гидрохимическим показателям

Оценка изменчивости качества речных вод проведена на основе многолетней гидрохимической информации и расчета значений УКИЗВ. Для оценки временной динамики рассмотрены класс качества и степень загрязненности воды исследуемых рек в зоне смешанных и широколиственных лесов с разбивкой информации по пятилетиям (за многолетний период с 1985 по 2015 гг.). Результаты обобщения представлены в таблице 40. Анализ данных позволяет отметить пространственную неоднородность степени загрязненности водной среды речных участков в зоне смешанных и широколиственных лесов.

Качество воды и состояние загрязненности воды на участках рек, протекающих в пределах зоны смешанных и широколиственных лесов ЕЧР, за многолетний период можно характеризовать как (таблица 40):

- стабильно «загрязненные» и/ или «очень загрязненные» (3-й класс качества воды) – это все четыре участка рек Днепровско-Деснинской провинции, большинство участков рек (около 78 %) Приокской провинции и более половины речных участков Прибалтийской и Верхне-Волжской провинций;

- переходные от «очень загрязненных» (3-й класс качества) к «грязным» (4-й класс качества) к – это большинство участков рек Мещерской провинции (61,5 %) и около половины – Смоленско-Московской;

- больше всего участков рек, характеризующихся как стабильно «грязные» (4-й класс качества воды), расположены в Мещерской (30,8 %) и Смоленско-Московской (37,5 %) провинциях.

Таким образом, прослеживается снижение качества воды в зоне смешанных и широколиственных лесов при движении с севера на юг зоны.

В таблице 40 для каждого исследуемого участка реки приведена тенденция изменения качества воды – улучшение, стабилизация или ухудшение. Анализ преобладающих тенденций качества воды рек внутри каждой ФГП и в целом внутри зоны смешанных и широколиственных лесов показал, что:

Таблица 40 – Пространственно-временная изменчивость степени загрязненности речных вод в зоне смешанных и широколиственных лесов ЕЧР (составлено автором по [49, 63, 150, 253])

№ *	Река	Пункт	Степень загрязненности водной среды						Тенденция
			1985-1989	1990-1994	1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-2015	
XIII. Прибалтийская провинция									
1301	Нева	г. Кировск	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	стабилизация
1302	Нева	г. Санкт-Петербург	н.д.	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	загрязненная	стабилизация
1303	Свирь	г. Подпорожье	загрязненная	очень загрязненная	грязная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	стабилизация
1304	Свирь	г. Лодейное Поле	загрязненная	очень загрязненная	грязная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	стабилизация
1305	Волхов	г. Кириши	грязная	очень загрязненная	очень загрязненная	грязная	грязная	грязная	стабилизация
1306	Великая	г. Опочка	н.д.	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	загрязненная	стабилизация
1307	Великая	г. Остров	н.д.	загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	стабилизация
1308	Ловать	г. Великие Луки	н.д.	очень загрязненная	загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	загрязненная	стабилизация
1309	Луга	г. Луга	очень загрязненная	очень загрязненная	грязная	очень загрязненная	грязная	грязная	***ухудшение***
1310	Паша	с. Часовенское	н.д	загрязненная	очень загрязненная	грязная	очень загрязненная	очень загрязненная	нет
1311	Плюсса	г. Сланцы	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	загрязненная	стабилизация
1312	Оять	д. Акулова гора	н.д.	загрязненная	очень загрязненная	грязная	очень загрязненная	очень загрязненная	нет

№ *	Река	Пункт	Степень загрязненности водной среды						Тенденция
			1985-1989	1990-1994	1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-2015	
1313	Оредеж	д. Моровино	н.д.	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	стабилизация
1314	Тихвинка	г. Тихвин	загрязненная	грязная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	стабилизация
1315	Тосна	п. Усть-Тосно	очень загрязненная	грязная	грязная	очень загрязненная	очень загрязненная	загрязненная	**улучшение**
1316	Большая Вишера	пгт Большая Вишера	н.д.	грязная	грязная и очень загрязненная	грязная и очень загрязненная	очень загрязненная	грязная и очень загрязненная	стабилизация
1317	Кересть	г. Чудово	н.д.	грязная и очень загрязненная	очень загрязненная	грязная и очень загрязненная	очень загрязненная	грязная и очень загрязненная	стабилизация
1318	Мга	п. Павлово	грязная	**очень грязная**	грязная	грязная	загрязненная	очень загрязненная	**улучшение**
XIV. Верхне-Волжская провинция									
1401	Молога	г. Устюжна	грязная	грязная	очень загрязненная	грязная	очень загрязненная	очень загрязненная	**улучшение**
1402	Мста	г. Боровичи	н.д.	грязная	н.д.	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	стабилизация
1403	Кострома	г. Буй (выше города)	н.д.	грязная	грязная и очень загрязненная	грязная	очень загрязненная	очень загрязненная	**улучшение**
1404	Кострома	с. Исады	грязная	грязная	очень загрязненная	грязная	грязная	грязная	стабилизация
1405	Чагодоща	с. Мегрино	очень загрязненная	грязная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	стабилизация
1406	Тверца	г. Тверь	н.д.	загрязненная	загрязненная	загрязненная	грязная	очень загрязненная	нет

№ *	Река	Пункт	Степень загрязненности водной среды						Тенденция
			1985-1989	1990-1994	1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-2015	
1407	Которосль	г. Гаврилов-Ям	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	стабилизация
1408	Дубна	п. Вербилки	н.д.	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	стабилизация
1409	Андога	с. Никольское	н.д.	грязная	грязная и очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	стабилизация
1410	Сестра	с. Трехсвятское	н.д.	**очень грязная и грязная**	грязная	грязная	грязная	грязная	стабилизация
1411	Корожечна	д. Сумы	н.д.	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	стабилизация
1412	Ухра	д. Клочково	н.д.	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	стабилизация
1413	Соть	д. Верхний Жар	н.д.	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	стабилизация
1414	Меза	д. Ямково	н.д.	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	загрязненная	стабилизация
1415	Ить	д. Нестерово	н.д.	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	стабилизация
XV. Смоленско-Московская провинция									
1501	Волга	г. Ржев	н.д.	загрязненная	загрязненная	н.д.	очень загрязненная	загрязненная	стабилизация
1502	Ока	г. Калуга	очень загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	очень загрязненная	загрязненная	стабилизация
1503	Москва	д. Барсуки	н.д.	**грязная и очень грязная**	грязная	грязная	грязная	грязная и очень загрязненная	**улучшение**

№ *	Река	Пункт	Степень загрязненности водной среды						Тенденция
			1985-1989	1990-1994	1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-2015	
1504	Москва	г. Звенигород	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	стабилизация
1505	Угра	п. Куровской	загрязненная	загрязненная	загрязненная	слабо загрязненная	загрязненная	загрязненная	стабилизация
1506	Протва	г. Верея	загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	стабилизация
1507	Болва	г. Людиново	н.д.	загрязненная	очень загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	стабилизация
1508	Шаня	пгт Товарково	н.д.	загрязненная	загрязненная	очень загрязненная	загрязненная	загрязненная	стабилизация
1509	Истра	д. Павловская Слобода	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	стабилизация
1510	Колокша	с. Бабаево	н.д.	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	стабилизация
1511	Вязьма	г. Вязьма	н.д.	н.д.	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	грязная	***ухудшение***
1512	Воря	г. Красноармейск	**очень грязная**	**экстремально грязная**	грязная	грязная	грязная	**очень грязная**	***ухудшение***
1513	Лопасня	г. Чехов	н.д.	загрязненная	загрязненная	очень загрязненная	загрязненная	загрязненная	стабилизация
1514	Истья	с. Поповичи	н.д.	загрязненная	очень загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	стабилизация
1515	Серая	д. Новинки	н.д.	загрязненная	загрязненная	очень загрязненная	загрязненная	загрязненная	стабилизация
1516	Кунья	г. Краснозводск	н.д.	**экстремально грязная**	**очень грязная**	**очень грязная**	грязная	грязная	**улучшение**
XVI. Мещерская провинция									
1601	Ока	г. Муром	н.д.	грязная	очень	грязная и	грязная	грязная	стабилизация

№ *	Река	Пункт	Степень загрязненности водной среды						Тенденция
			1985-1989	1990-1994	1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-2015	
					загрязненная	загрязненная			
1602	Ока	г. Рязань	н.д.	грязная	грязная	грязная и загрязненная	очень загрязненная	грязная	стабилизация
1603	Клязьма	г. Ковров	грязная	грязная	грязная	**очень грязная**	грязная и очень загрязненная	грязная и очень загрязненная	нет
1604	Клязьма	г. Галицы	грязная	грязная	грязная	**очень грязная**	грязная	грязная и очень загрязненная	нет
1605	Клязьма	г. Павловский Посад	**экстремально грязная**	**экстремально грязная**	грязная	**экстремально грязная**	**очень грязная**	**очень грязная**	**улучшение**
1606	Теша	д. Натальино	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	очень загрязненная	**улучшение**
1607	Пра	п. Брыкин Бор	н.д.	загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	стабилизация
1608	Пра	с. Борисово	н.д.	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	стабилизация
1609	Уводь	г. Иваново	грязная	грязная	грязная	грязная	очень загрязненная	грязная	стабилизация
1611	Теза	г. Шуя	грязная	грязная	грязная	очень загрязненная	загрязненная	очень загрязненная	**улучшение**
1612	Ушна	с. Борисоглеб	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	стабилизация
1613	Бужа	д. Избище	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	стабилизация
XVII. Приокская провинция									
1701	Ока	г. Орел	**очень грязная**	грязная	очень загрязненная	грязная	очень загрязненная	очень загрязненная	**улучшение**

№ *	Река	Пункт	Степень загрязненности водной среды						Тенденция
			1985-1989	1990-1994	1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-2015	
1702	Ока	г. Алексин	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	очень загрязненная	улучшение
1703	Ока	г. Белев	н.д.	грязная	грязная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	улучшение
1704	Упа	д. Кулешево	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	стабилизация
1705	Свапа	сл. Михайловка	загрязненная	загрязненная	грязная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	стабилизация
1706	Свапа	г. Дмитриев	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	стабилизация
1707	Осетр	д. Городня	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	стабилизация
1708	Снежеть	г. Карачев	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	стабилизация
1709	Усожа	г. Фатеж	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	стабилизация
XVIII. Северо-Приволжская провинция									
1801	Сура	с. Порецкое	н.д.	грязная	грязная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	улучшение
1802	Пьяна	с. Камкино	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	стабилизация
1803	Цивиль	д. Тувси	н.д.	грязная	грязная	загрязненная	очень загрязненная	загрязненная	улучшение
1804	Кудьма	д. Ефимьево	н.д.	грязная	грязная	загрязненная	очень загрязненная	загрязненная	улучшение
1805	Кудьма	г. Кстово	н.д.	грязная	грязная	загрязненная	очень загрязненная	загрязненная	улучшение
1806	Кубня	с. Чутеево	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	стабилизация

№ *	Река	Пункт	Степень загрязненности водной среды						Тенденция
			1985-1989	1990-1994	1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-2015	
1807	Сундовик	д. Семово	н.д.	грязная	грязная	грязная	очень загрязненная	грязная	стабилизация
XIX. Днепровско-Деснинская провинция									
1901	Жиздра	г. Козельск	очень загрязненная	очень загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	стабилизация
1902	Болва	г. Фокино	очень загрязненная	очень загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	стабилизация
1903	Навля	г. Навля	загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	стабилизация
1904	Унеча	г. Унеча	очень загрязненная	очень загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	стабилизация

Примечания: *1301: 13 – номер провинции, 01 – порядковый номер реки;

н.д. – нет данных;

Цветовое обозначение класса качества воды (ККВ):

– 2-й ККВ – слабо загрязненная

– 3-й ККВ (разряды «А» и «Б») – загрязненная или очень загрязненная

– 4-й ККВ (разряды «А» и «Б») – грязная

– 4-й ККВ (разряды «В» и «Г») – очень грязная

– 5-й ККВ – экстремально грязная

1) подавляющее большинство исследуемых участков рек имеют тенденцию к стабилизации (70 %), тренд на улучшение качества воды характерен только для 20 % участков рек в данной зоне ЕЧР;

2) наибольшее количество участков рек с тенденцией стабилизации качества воды находятся в трех провинциях северо-западной части данной зоны ЕЧР – в Прибалтийской (XIII), Вернхне-Волжской (XIV) и Смоленско-Московской (XV), а также в Ветлужско-Унжинской (XII) (рисунок 9);

3) тенденция к ухудшению качества воды наблюдается только на трех участках рек в зоне смешанных и широколиственных лесов: р. Луга (г. Луга), р. Вязьма (г. Вязьма) и р. Воря (г. Красноармейск) (таблица 40). Данные участки рек имеют очень высокую степень загрязненности воды за счет влияния городчких и промышленных сточных вод.

Пространственное распределение количества (в %) речных участков в зоне смешанных и широколиственных лесов ЕЧР по степени загрязненности воды рек внутри физико-географических провинций приведено в таблице 41. В целом можно отметить, что в данной зоне качество воды большинства речных участков характеризуется 3-м классом, что соответствует степени загрязненности воды «загрязненная» и «очень загрязненная», а при движении от северных к южным провинциям (Мещерская и Смоленско-Московская) возрастает доля стабильно «очень загрязненных» или «грязных» речных участков.

Оценка многолетней (за период с 1985 по 2015 гг.) изменчивости состояния водной среды 82-х речных участков, функционирующих в зоне смешанных и широколиственных лесов ЕЧР, проведена в соответствии с рекомендациями [175, 176] по таким гидрохимическим показателям, как легкоокисляемые органические вещества (ЛОВ по $БПК_5$) и азот аммонийный. Для оценки изменчивости состояния водной среды участков рек по гидрохимическим показателям рассчитаны модальные интервалы значений концентраций ЛОВ и азота аммонийного. Оценка состояния проводилась по критериям, приведенным в классификаторе состояния водных объектов (см. таблицу 7). Полученные результаты представлены в таблице Б.2 приложения Б.

Таблица 41 – Распределение внутри провинций речных участков (в %) в зоне смешанных и широколиственных лесов ЕЧР по степени загрязненности воды

Провинция	Состояние водной среды			
	загрязненная и очень загрязненная	загрязненная и грязная	стабильно грязная	грязная и очень грязная
Прибалтийская	**56**	22	22	–
Верхне-Волжская	**67**	6	27	–
Приокская	**78**	11	11	–
Северо-Приволжская	**57**	–	43	–
Днепровско-Деснинская	**100**	–	–	–
Смоленско-Московская	19	**44**	31	6
Мещерская	8	**61**	23	8
Всего	**48**	**26**	**24**	**2**

Все исследуемые речные участки зоны смешанных и широколиственных лесов ЕЧР сгруппированы по различным категориям состояния их водной среды по ФГП от наиболее благополучных, находящихся в «естественном» и/или «равновесном» состоянии до участков рек, состояние которых оценивается как «напряженное» и/или переходное из «равновесного» или «напряженного» в «критическое». Распределение речных участков внутри провинций по категориям состояния водной среды по содержанию органических веществ приведено в таблице 42, по содержанию азота аммонийного – в таблице 43.

Состояние по содержанию в водной среде ЛОВ (по $БПК_5$)

В зоне смешанных и широколиственных лесов не оказалось участков рек в «естественном» состоянии по содержанию в воде ЛОВ. В «равновесном» и переходном из «естественного» в «равновесное» функционирует 29 речных участка, что составило от общего количества объектов исследования в данной природной зоне 35,4 %. Больше всего участков рек находятся переходном состоянии из «равновесного» в «напряженное» – 37 (45,1 %) (таблица 42).

Состояние 10 участков рек было оценено по содержанию в водной среде ЛОВ как «напряженное» (12,2 %) и для 6 участков наблюдается самая неблагополучная ситуация

– состояние их водной среды характеризуется категорией переходное из «равновесного» в «критическое»/«катастрофическое».

Самые экологически напряженные участки рек – это рр. Свапа (г. Дмитриев), Клязьма (г. Ковров), Воря (г. Красноармейск), Колокша (с. Бабаево) и Теша (д. Натальино), особенно – на участке реки Клязьма в районе г. Павловский Посад, где состояние характеризуется как переходное из «равновесного» в «катастрофическое» (см. таблицу Б.2 приложения Б).

Таблица 42 – Распределение внутри провинций речных участков (в %) в зоне смешанных и широколиственных лесов ЕЧР по категориям состояния по содержанию органических веществ

Провинция	Состояние водной среды				
	из естест-венного в равновесное	равновес-ное	из равно-весного в напряженное	кризис-ное	из равно-весного в критическое
Прибалтийская	11,1	**50,0**	**38,9**	–	–
Верхне-Волжская	–	**40,0**	**46,7**	13,3	–
Смоленско-Московская	–	**37,5**	**43,8**	18,8	–
Мещерская	–	15,4	**30,8**	15,4	**38,5**
Приокская	11,1	11,1	**33,3**	**33,3**	11,1
Северо-Приволжская	–	14,3	**85,7**	–	–
Днепровско-Деснинская	–	25,0	**75,0**	–	–
Всего	3,7	**31,7**	**45,1**	12,2	7,3

Графически распределение речных участков зоны смешанных и широколиственных лесов ЕЧР по категориям состояния по содержанию в водной среде ЛОВ приведено на рисунке 13. В целом можно отметить, что состояние большинства речных участков по содержанию в водной среде ЛОВ оценивается как «равновесное» или переходное из «равновесного» в «напряженное» состояние, а при движении на юг-восток возрастает доля участков рек, водная среда которых характеризуется переходными категориями состояния. Участки рек в «равновесном» состоянии преобладают только в Прибалтийской и Верхне-Волжской провинциях (рисунок 13).

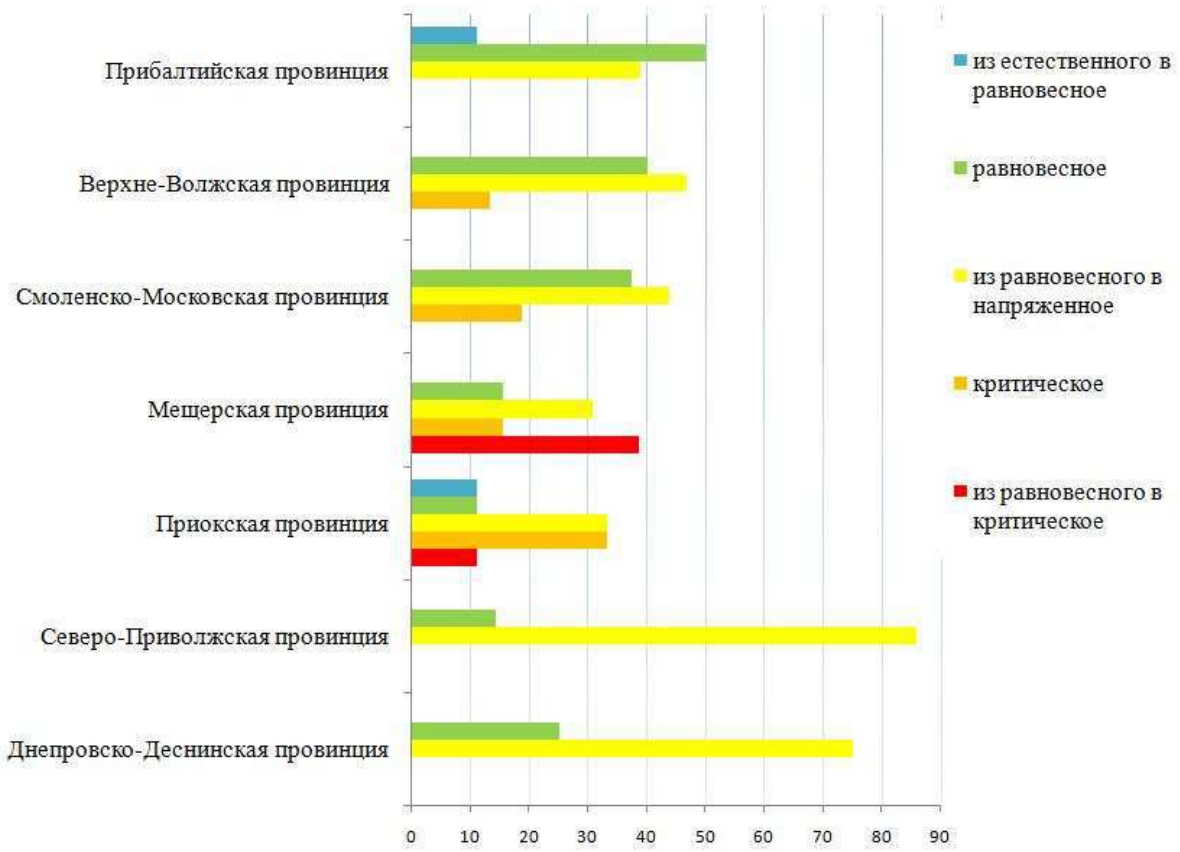


Рисунок 13 – Распределение по провинциям речных участков (в %) в зоне смешанных и широколиственных лесов ЕЧР по категориям состояния по содержанию ЛОВ

Состояние по содержанию в водной среде азота аммонийного

В «естественном» состоянии по содержанию азота аммонийного в зоне смешанных и широколиственных лесов ЕЧР функционирует 16 речных участков из общего количества объектов исследования в данной природной зоне, что составило 19,5 %, а в «равновесном» состоянии – 42 (51,2 %). Таким образом, подавляющее большинство участков рек этой природной зоны по содержанию в речных водах азота аммонийного находятся в «естественном» или «равновесном» состоянии (таблица 43).

Достаточно значима и доля участков рек, где состояние водной среды по гидрохимическим показателям соответствует категории переходного из «равновесного» в «напряженное» – 18 участков рек (22 %). Речных участков, находящихся в «напряженном» или переходном состоянии из «равновесного» в «критическое» выявлены единичные случаи – это два участка реки Пра (п. Брыкин Бор и с. Борисово) и участки рр. Уводь (г. Иваново), Бужа (д. Избище), Кудьма (г. Кстово) и Клязьма (г. Павловский Посад) соответственно (см. таблицу Б.2 приложения Б).

Таблица 43 – Распределение внутри провинций речных участков (в %) в зоне смешанных и широколиственных лесов ЕЧР по категориям состояния водной среды по содержанию азота аммонийного

Провинция	Состояние водной среды				
	естественное	равновесное	из равновесного в напряженное	напряженное	из равновесного в критическое
Прибалтийская	**83,3**	16,7	–	–	–
Верхне-Волжская	6,7	**80,0**	13,3	–	–
Смоленско-Московская	–	**56,3**	**43,8**	–	–
Мещерская	–	**38,5**	23,1	15,4	23,1
Приокская	–	**55,6**	**44,4**	–	–
Северо-Приволжская	–	**57,1**	**28,6**	–	14,3
Днепровско-Деснинская	–	**100**	–	–	–
Всего	19,5	**51,2**	22,0	2,4	4,9

Графическое распределение речных участков в зоне смешанных и широколиственных лесов ЕЧР по категориям состояния по содержанию азота аммонийного представлено рисунке 14. В целом можно отметить, что состояние большинства речных участков по содержанию азота аммонийного оценивается как благополучное, поскольку соответствует категории «равновесного» состоянии во многих провинциях зоны, а в Прибалтийской провинции доминируют участки рек, водная среда которых находится в «естественном» состоянии.

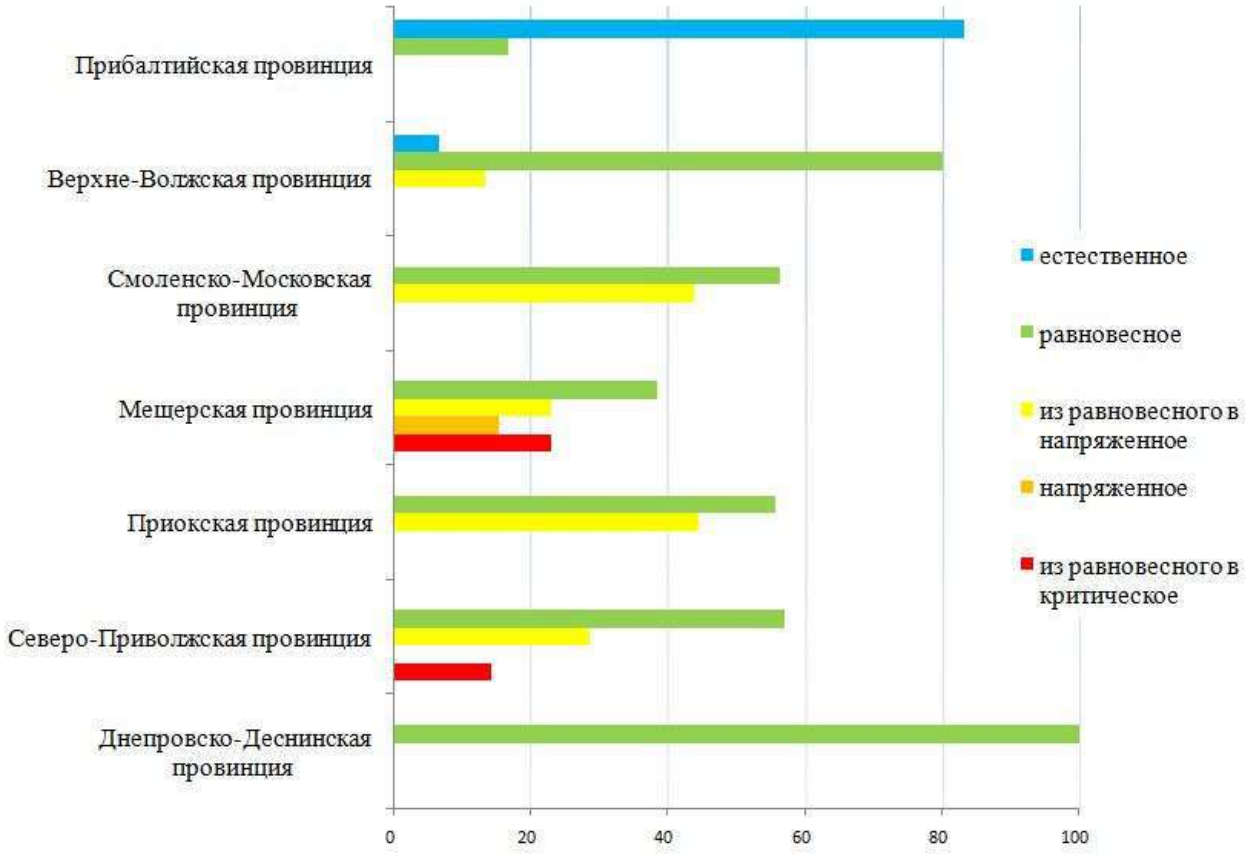


Рисунок 14 – Распределение речных участков (в %) в зоне смешанных и широколиственных лесов ЕЧР по категориям состояния по содержанию азота аммонийного

Как видно из рисунка 14 при движении с севера на юг зоны возрастает доля участков рек, водная среда которых находится в переходных состояниях из «равновесного» в «напряженное» и даже «критическое», что согласуется с гидрохимической зональностью, когда в более южных природных территориях возрастает содержание главных ионов и биогенных веществ.

ГЛАВА 6 РЕЧНЫЕ ВОДЫ ЗОН ЛЕСОСТЕПЕЙ И СТЕПЕЙ ЕЧР

В зонах лесостепей и степей ЕЧР располагается 10 физико-географических провинций, в пределах которых находится 51 исследуемая река (71 пункт наблюдений). Речные участки распределены по провинциям неравномерно, в зоне степей значительно сокращается густота речной сети и в каждой их провинций выбраны для исследования минимум 3-4 пункта наблюдений. По провинциям речные участки распределены следующим образом: в Среднерусской – 18 участков рек, Окско-Донской – 14, Приволжской – 9, Кинельско-Камской – 4, Бугульминско-Белебеевской – 4, Провинции Общий Сырт – 5, Самаро-Иргизской – 3, Хопер-Медведицкой – 3, Донецко-Донской – 5 и в Нижнедонской – 6.

6.1 Тенденции изменчивости химического состава речных вод

Для выявления тенденций изменчивости содержания какого-либо химического вещества в речных водах необходимо рассчитать значения рангового коэффициента корреляции Кендалла, характеризующего взаимосвязь между датами отбора проб и измеренными в эти дни концентрациями веществ или ионов [215]. Значения рангового коэффициента корреляции Кендалла для концентраций главных ионов (магния, кальция, хлоридов, сульфатов и гидрокарбонатов) в речных водах ЕЧР в зонах лесостепей и степей приведены в таблице 44, для концентраций соединений азота, растворенного в воде кислорода и органических веществ – в таблице 45 и для концентраций растворенных форм тяжелых металлов – в таблице 46.

Тенденции изменчивости концентраций главных ионов в речных водах

Анализ изменчивости содержания главных ионов в речных водах в зонах лесостепей и степей ЕЧР позволил выявить 213 случаев тенденций: 33 по кальцию, по 39 для магния и гидрокарбонатов, 44 по хлоридам и 58 по сульфатам. Из числа обнаруженных статистически значимых тенденций по каждому ингредиенту значительно преобладают возрастающие для магния (95 %), гидрокарбонатов (77 %), кальция (61 %) и сульфатов (67 %), убывающие тенденции доминируют только для хлоридов (71 %) (таблица 44).

Таблица 44 – Значения коэффициента корреляции между датами отбора проб и концентрациями главных ионов для участков рек в зонах степей и лесостепей ЕЧР (составлено по [178])

Номер*	Река	Пункт	Коэффициент корреляции для				
			магния	кальция	хлоридов	сульфатов	гидрокарбонатов
ЗОНА ЛЕСОСТЕПЕЙ							
XX. Среднерусская провинция							
2001	Дон	г. Воронеж	0,10	–	-0,16	0,33	–
2002		г. Данков	–	–	-0,38	0,19	0,13
2003		г. Лебедянь	–	–	-0,38	0,16	0,16
2004		г. Задонск	–	–	-0,24	0,20	–
2005	Северский Донец	с. Беломестное	–	0,25	0,24	0,32	0,16
2006	Быстрая Сосна	г. Ливны	-0,14	–	-0,21	-0,29	–
2007	Проня	пгт Серебрянь	–	–	-0,25	-0,22	–
2008	Упа	д. Орлово	–	–	-0,38	-0,10	0,13
2009	Красивая Меча	г. Ефремов	–	-0,09	-0,13	–	0,14
2010	Тихая Сосна	г. Алексеевка	–	0,23	0,21	0,23	0,18
2011	Нежеголь	г. Шебекино	–	0,18	0,21	0,27	0,14
2012	Тускарь	м. Свобода	–	0,10	-0,33	–	-0,13
2013	Неручь	д. Орловка	–	–	-0,11	-0,21	–
2014	Суджа	сл. Замостье	–	0,17	-0,21	–	0,19
2015	Верда	г. Скопин	–	-0,11	-0,21	-0,15	–
2016	Короча	г. Короча	–	0,21	0,21	0,28	0,12
2017	Осколец	г. Губкин	–	0,27	0,31	0,36	–
2018	Воронка	д. Ясная Поляна	–	–	-0,17	–	–
XXI. Окско-Донская провинция							
2101	Дон	г. Лиски	0,24	–	–	0,34	–
2102	Хопер	г. Борисоглебск	0,11	–	–	0,29	–
2103		г. Балашов	0,13	–	0,14	–	–
2104	Медведица	п. Лысые Горы	0,14	–	0,20	0,16	–
2105	Воронеж	г. Липецк	–	0,15	-0,20	0,21	0,12
2106		с. Старая Казинка	0,22	–	–	0,23	0,19
2107	Цна	г. Тамбов	0,30	-0,14	-0,35	-0,38	0,21

Номер*	Река	Пункт	Коэффициент корреляции для				
			магния	кальция	хлоридов	сульфатов	гидрокарбонатов
2108	Битюг	п. Анна	0,23	0,20	–	0,35	0,13
2109	Матыра	с. Крутое	0,10	0,25	-0,13	0,22	0,20
2110	Усмань	Воронежский заповедник	–	-0,32	-0,20	–	–
2111	Карай	с. Подгорное	0,13	–	–	–	–
2112	Становая Ряса	г. Чаплыгин	0,14	0,21	-0,11	0,21	0,24
2113	Лесной Воронеж	г. Мичуринск	0,35	-0,11	-0,14	-0,39	0,20
2114		г. Рассказово	0,35	–	-0,10	-0,32	0,19
XXII. Приволжская провинция							
2201	Свияга	г. Буинск	0,20	-0,17	-0,28	-0,20	–
2202	Ворона	г. Кирсанов	0,13	-0,17	-0,17	-0,42	0,11
2203	Барыш	п. Карсун	–	0,29	-0,29	–	0,29
2204	Сызрань	с. Репьевка	–	0,23	-0,24	–	–
2205	Инсар	г. Саранск	–	-0,23	–	-0,24	-0,19
2206		г. Рузаевка	–	-0,28	–	-0,26	-0,24
2207	Атмисс	г. Каменка	–	0,33	–	-0,27	0,21
2208	Гуща	с. Елшанка	–	0,34	-0,19	-0,14	0,34
2209	Тешнярь	п. Сосновоборск	-0,16	–	-0,22	-0,35	-0,21
XXIII. Кинельско-Камская провинция							
2301	Самара	пгт Алексеевка	–	–	–	0,18	–
2302	Сок	с. Красный Яр	–	–	–	0,17	–
2303	Большой Черемшан	пгт Новочеремшанск	0,24	0,11	–	–	0,25
2304	Падовая	г. Самара	0,14	–	–	0,15	0,27
XXIV. Бугульминско-Белебеевская провинция							
2401	Большой Кинель	пгт Тимашево	–	–	-0,21	0,26	–
2402	Сок	п. Сергиевск	0,14	0,15	–	0,20	–
2403	Степной Зай	г. Альметьевск	0,18	–	-0,14	0,19	–
2404	Сургут	г. Серноводск	–	–	–	–	–
ЗОНА СТЕПЕЙ							
XXV. Провинция Общий Сырт							
2501	Самара	г. Бузулук	–	–	-0,16	-0,27	0,13
2502	Сакмара	с. Каргала	–	–	–	-0,27	0,28
2503	Урал	п. Илек	0,11	–	–	-0,21	0,30
2504	Салмыш	с. Буланово	0,22	–	–	–	0,19

Номер*	Река	Пункт	Коэффициент корреляции для				
			магния	кальция	хлоридов	сульфатов	гидрокарбонатов
2505	Ток	с. Ероховка	0,18	–	-0,13	–	0,20
XXVI. Самаро-Иргизская провинция							
2601	Большой Иргиз	г. Пугачев	0,16	–	0,17	0,21	–
2602	Чапаевка	г. Чапаевск	0,13	0,13	0,17	0,15	–
2603	Чагра	с. Новотулка	–	–	-0,17	0,11	-0,11
XXVII. Хопер-Медведицкая провинция							
2701	Дон	г. Серафимович	0,33	-0,17	0,16	0,35	-0,27
2702	Медведица	устье	0,26	–	–	0,19	-0,23
2703	Бузулук	с. Перевозниково	–	–	–	-0,31	0,19
XXVIII. Донецко-Донская провинция							
2801	Дон	г. Павловск	0,25	–	–	0,35	–
2802		с. Новая Калитва	0,23	–	–	0,34	–
2803	Хопер	устье	0,22	-0,15	–	0,24	-0,30
2804	Калитва	с. Раздолье	0,53	0,40	0,59	0,57	0,12
2805	Быстрая	х. Апанаскин	0,56	0,52	0,47	0,57	–
XXIX. Нижнедонская провинция							
2901	Дон	г. Волгодонск	0,30	–	–	0,38	–
2902		г. Константиновск	0,29	–	–	0,32	–
2903		г. Семикаракорск	0,41	–	0,14	0,37	–
2904		п. Багаевский	0,33	–	–	0,33	–
2905		ст-ца Раздорская	0,24	-0,11	–	0,21	-0,13
2906	Север. Донец	р.п. Усть-Донецкий	0,24	-0,13	–	0,45	–

Примечание: *2001: 20 – номер провинции, 01 – порядковый номер реки в провинции.
Цветом выделены статистически значимые ранговые коэффициенты корреляции при $p<0,05$: зеленый цвет означает убывающую тенденцию, розовый – возрастающую.

Статистически значимые возрастающие и убывающие ***тенденции концентраций магния*** обнаружены в 39 водных объектах, что составляет 55 % от общего числа исследованных участков в зонах лесостепей и степей ЕЧР. Среди основных тенденций в воде рек на долю возрастающих приходится 95 % случаев (37 речных участков). В большинстве случаев (27 из 39) обнаруженная статистически значимая связь имеет слабую силу

(в 93 % случаев прямая), в ряде водных объектов она возрастает до средней (умеренной) и сильной (тесной). Статистическая связь средней силы выявлена для 10 участков рек. Прямая сильная (тесная) статистически значимая связь отмечена для двух участков – р. Калитва, с. Раздолье (r = 0,53) и р. Быстрая, х. Апанаскин (r = 0,56).

Статистически значимые возрастающие и убывающие ***тенденции концентраций кальция*** обнаружены для 33 участков рек, что составляет около 47 % от общего числа исследованных водных объектов. Среди основных тенденций в воде рек в лесостепной и степной зонах значительно преобладают возрастающие (в 20 случаях из 33 или 61 % от общего числа тенденций). Оставшиеся 39 % обнаруженных тенденций относятся к убывающим.

В большинстве случаев (23 из 33) обнаруженная статистически значимая связь имеет слабую силу (в 52 % случаев прямая и в 48 % – обратная), однако в ряде водных объектов она возрастает до умеренной и сильной (тесной). Прямая статистически значимая связь средней силы обнаруживается в 7-х речных участках из 9, а прямая сильная (тесная) статистически значимая связь отмечена на участке и р. Быстрая, х. Апанаскин (r = 0,52) (таблица 44).

Для хлоридов статистически значимые возрастающие и убывающие тенденции концентраций обнаружены для 44 участков рек, что составляет 62 % от числа исследованных водных объектов. Среди основных тенденций в воде рек преобладают убывающие (71 % от общего числа тенденций). Оставшиеся 29 % обнаруженных тенденций относятся к возрастающие (13 участков).

В большинстве случаев (33 из 44) обнаруженная статистически значимая связь имеет слабую силу (в 30 % случаев прямая и в 70 % – обратная), однако в ряде водных объектов она возрастает до умеренной и сильной (тесной).

Прямая статистически значимая связь средней силы для хлоридов обнаруживается в 2-х речных участках: р. Осколец, г. Губкин (r = 0,31) и р. Быстрая, х. Апанаскин (r = 0,47), обратная – в восьми случаях. Возрастающая тенденция с сильной (тесной) статистически значимой связью отмечена на участке р. Калитва, с. Раздолье (r = 0,59).

Статистически значимые возрастающие и убывающие ***тенденции концентраций сульфатов*** обнаружены в 58 водных объектах, что составляет 82 % от общего числа исследованных участков в зонах лесостепей и степей ЕЧР. Среди основных тенденций в

воде рек на долю возрастающих приходится 67 % (39 речных участков), убывающих – 33 % (19 участков).

По силе связи обнаруженные статистически значимые тенденции распределены следующим образом: по 28 случаев обнаруженная связь имеет слабую и среднюю (умеренную) силу и в 2-х участках выявленная связь является сильной (тесной). В большинстве случаев (20 из 28) обнаруженная статистически значимая связь слабой силы является прямой (в 71 %). Возрастающие и убывающие тенденции средней силы соответственно составляют 17 и 11 случаев. Прямая сильная (тесная) статистически значимая связь отмечена для двух участков – р. Калитва, с. Раздолье (r = 0,57) и р. Быстрая, х. Апанаскин (r = 0,57) (таблица 44).

Статистически значимые возрастающие и убывающие ***тенденции концентраций гидрокарбонатов*** обнаружены для 39 участков рек, что составляет около 55 % от числа исследованных водных объектов. Среди основных тенденций в воде рек в зонах лесостепей и степей преобладают возрастающие (в 30 случаях из 39 или 77 %). Оставшиеся 23 % обнаруженных тенденций относятся к убывающим.

В большинстве случаев (31 из 39) обнаруженная статистически значимая связь имеет слабую силу (в 77 % случаев прямая и в 23 % – обратная), однако в ряде водных объектов она возрастает до умеренной (средней). В изменчивости гидрокарбонатов статистически значимой сильной (тесной) связи не выявлено.

Тенденции изменчивости концентраций биогенных и органических веществ в речных водах

По изменчивости концентраций биогенных и органических веществ всего выявлено 278 тенденций из 426 возможных случаев. Количество тенденций распределено примерно равномерно между показателями (от 41 по нитратам до 49 по легкоокисляемым органическим веществам), за исключением нефтепродуктов, по которым обнаружено больше всего трендов (56). Из числа обнаруженных статистически значимых тенденций преобладают убывающие для всех показателей, кроме азота нитратного (в 66 % случаях возрастающий тренд) (таблица 45).

Таблица 45 – Значения коэффициента корреляции между датами отбора проб и концентрациями биогенных, органических веществ для участков рек в зонах лесостепей и степей ЕЧР (составлено по [178])

Номер*	Река	Пункт	Коэффициент корреляции для					
			азота аммонийного	азота нитратного	кислорода	ОВ ($БПК_5$)	ОВ (ХПК)	нефтепродуктов
ЗОНА ЛЕСОСТЕПЕЙ								
XX. Среднерусская провинция								
2001	Дон	г. Воронеж	-0,23	–	-0,12	-0,22	-0,15	0,12
2002		г. Данков	–	–	0,46	0,32	0,13	–
2003		г. Лебедянь	–	–	0,42	0,29	–	–
2004		г. Задонск	–	–	0,51	0,26	0,11	–
2005	Север. Донец	с. Беломестное	-0,20	–	–	–	-0,14	-0,20
2006	Сосна	г. Ливны	–	0,20	-0,13	0,17	-0,25	0,15
2007	Проня	пгт Серебрянь	0,11	0,18	–	–	-0,21	–
2008	Упа	д. Орлово	-0,35	-0,11	–	–	-0,33	-0,36
2009	Красивая Меча	г. Ефремов	-0,32	0,12	–	–	-0,27	-0,35
2010	Тихая Сосна	г. Алексеевка	-0,23	0,15	–	-0,12	-0,13	-0,26
2011	Нежеголь	г. Шебекино	-0,28	0,11	–	–	–	-0,32
2012	Тускарь	м. Свобода	-0,39	0,16	–	-0,14	–	0,14
2013	Неручь	д. Орловка	-0,17	0,31	–	0,14	-0,32	0,24
2014	Суджа	сл. Замостье	-0,29	0,20	0,24	–	–	0,20
2015	Верда	г. Скопин	–	–	–	-0,30	-0,32	-0,38
2016	Короча	г. Короча	-0,20	–	–	–	-0,20	-0,28
2017	Осколец	г. Губкин	-0,24	–	-0,12	-0,08	-0,13	-0,25
2018	Воронка	д. Ясная Поляна	-0,35	–	–	–	-0,16	-0,36
XXI. Окско-Донская провинция								
2101	Дон	г. Лиски	-0,24	-0,11	–	–	–	-0,28
2102	Хопер	г. Борисоглебск	-0,21	–	–	–	-0,24	-0,19
2103		г. Балашов	-0,13	0,12	–	–	-0,13	–
2104	Медведица	п. Лысые Горы	–	0,11	–	–	–	–
2105	Воронеж	г. Липецк	–	–	0,24	0,31	0,28	–

Номер*	Река	Пункт	Коэффициент корреляции для					
			азота аммонийного	азота нитратного	кислорода	ОВ ($БПК_5$)	ОВ (ХПК)	нефтепродуктов
2106		с. Старая Казинка	-0,17	0,31	0,19	–	–	0,19
2107	Цна	г. Тамбов	-0,20	-0,57	–	-0,35	-0,27	-0,21
2108	Битюг	п. Анна	-0,29	–	-0,11	-0,19	-0,33	-0,40
2109	Матыра	с. Крутое	–	0,12	0,38	–	0,19	–
2110	Усмань	Воронежский запов.	–	0,23	–	-0,26	-0,16	-0,33
2111	Карай	с. Подгорное	-0,17	–	–	-0,11	–	–
2112	Становая Ряса	г. Чаплыгин	–	0,13	0,36	0,22	0,14	–
2113	Лесной Воронеж	г. Мичуринск	–	-0,44	–	-0,25	-0,19	–
2114	Лесной Тамбов	г. Рассказово	–	-0,51	-0,19	-0,17	-0,10	-0,10
XXII. Приволжская провинция								
2201	Свияга	г. Буинск	–	0,45	-0,10	-0,33	-0,35	0,10
2202	Ворона	г. Кирсанов	-0,19	-0,34	-0,11	-0,31	-0,28	–
2203	Барыш	п. Карсун	-0,34	–	0,10	-0,43	-0,12	–
2204	Сызрань	с. Репьевка	–	–	0,16	-0,48	-0,23	-0,26
2205	Инсар	г. Саранск	-0,16	-0,38	–	–	-0,14	-0,34
2206		г. Рузаевка	0,17	-0,34	-0,12	–	–	-0,22
2207	Атмисс	г. Каменка	-0,13	–	-0,18	-0,07	-0,25	0,07
2208	Гуща	с. Елшанка	-0,31	–	0,16	-0,29	–	0,16
2209	Тешнярь	п. Сосновоборск	-0,14	–	-0,21	-0,12	-0,30	0,10
XXIII. Кинельско-Камская провинция								
2301	Самара	пгт Алексеевка	–	0,31	–	-0,33	–	-0,44
2302	Сок	с. Красный Яр	–	–	-0,16	-0,36	-0,11	-0,39
2303	Большой Черемшан	пгт Новочерем-шанск	-0,24	–	–	-0,27	–	–
2304	Падовая	г. Самара	–	–	-0,23	-0,17	–	-0,29
XXIV. Бугульминско-Белебеевская провинция								
2401	Большой Кинель	пгт Тимашево	–	0,35	–	-0,35	-0,12	-0,39
2402	Сок	п. Сергиевск	–	0,32	-0,15	-0,33	-0,17	-0,35

Номер*	Река	Пункт	Коэффициент корреляции для					
			азота аммонийного	азота нитратного	кислорода	ОВ ($БПК_5$)	ОВ (ХПК)	нефтепродуктов
2403	Степной Зай	г. Альметьевск	–	0,51	0,12	–	-0,25	-0,23
2404	Сургут	г. Сернодводск	–	–	–	–	–	–
ЗОНА СТЕПЕЙ								
XXV. Провинция Общий Сырт								
2501	Самара	г. Бузулук	-0,18	0,25	-0,22	-0,31	-0,19	-0,28
2502	Сакмара	с. Каргала	–	0,38	–	-0,27	-0,13	-0,22
2503	Урал	п. Илек	–	0,42	-0,10	-0,33	-0,18	-0,10
2504	Салмыш	с. Буланово	-0,16	0,32	–	-0,24	-0,18	-0,23
2505	Ток	с. Ероховка	-0,14	0,31	-0,15	-0,31	-0,16	-0,18
XXVI. Самаро-Иргизская провинция								
2601	Большой Иргиз	г. Пугачев	–	–	-0,11	-0,21	0,10	-0,08
2602	Чапаевка	г. Чапаевск	–	–	–	-0,24	–	-0,34
2603	Чагра	с. Новотулка	-0,11	–	-0,17	-0,36	–	-0,35
XXVII. Хопер-Медведицкая провинция								
2701	Дон	г. Серафимович	–	0,37	-0,23	–	–	-0,44
2702	Медведица	устье	0,16	–	-0,27	0,19	–	-0,46
2703	Бузулук	с. Перевозниково	0,28	0,19	-0,22	-0,26	–	-0,31
XXVIII. Донецко-Донская провинция								
2801	Дон	г. Павловск	-0,29	–	–	-0,21	-0,24	-0,39
2802		с. Новая Калитва	-0,23	–	–	-0,20	-0,23	-0,14
2803	Хопер	устье	0,24	0,14	-0,20	0,13	-0,13	-0,53
2804	Калитва	с. Раздолье	0,23	–	-0,31	-0,26	–	-0,45
2805	Быстрая	х. Апанаскин	0,37	-0,20	-0,44	-0,28	–	-0,48
XXIX. Нижнедонская провинция								
2901	Дон	г. Волгодонск	0,42	–	-0,10	–	0,10	-0,22
2902		г. Константиновск	0,11	-0,45	-0,38	–	0,19	-0,44
2903		г. Семикаракорск	–	-0,43	-0,40	–	–	-0,35
2904		п. Багаев-	–	-0,43	-0,47	–	0,18	-0,43

Номер*	Река	Пункт	Коэффициент корреляции для					
			азота аммонийного	азота нитратного	кислорода	ОВ ($БПК_5$)	ОВ (ХПК)	нефтепродуктов
		ский						
2905	Дон	ст-ца Раздорская	0,16	-0,23	-0,43	-0,31	–	-0,43
2906	Северский Донец	р.п. Усть-Донецкий	0,21	-0,31	-0,25	0,16	0,19	-0,33
XXX. Северо-Кавказская и Западно-Предкавказская провинция								
3001	Кубань	г. Армавир	0,27	-0,22	0,11	-0,15	-0,30	-0,51
3002		г. Кропткин	0,36	-0,27	–	-0,15	-0,17	-0,46
3003		ст-ца Ладожская	0,32	-0,25	–	-0,23	-0,21	-0,45
3004		г. Краснодар	0,36	-0,25	-0,10	-0,16	-0,35	-0,49

Примечание: *2001: 20 – номер провинции, 01 – порядковый номер реки в провинции;
Цветом выделены статистически значимые ранговые коэффициенты корреляции при $p<0,05$: зеленый цвет означает убывающую тенденцию, розовый – возрастающую.

Снижение концентраций в многолетнем аспекте отмечено в 74 % случаях для азота аммонийного, 70 % – растворенного в воде кислорода, 80 % – легкоокисляемых (по $БПК_5$) и 79 % трудноокисляемых органических веществ (по ХПК) и 82 % – нефтепродуктов (таблица 45).

Статистически значимые возрастающие и убывающие ***тенденции концентраций аммонийных ионов*** обнаружены в 43 водных объектах, что составляет около 61 % от общего числа исследованных участков. Среди основных тенденций в воде рек лесостепной и степной зон Европейской части России представлены в основном убывающие (для 32 участков или 74 % от общего числа тенденций). Оставшиеся 26 % обнаруженных тенденций относятся к возрастающим.

В основном обнаруженная статистически значимая связь (в 30 случаев из 43) имеет слабую силу (в 73 % случаев обратная), однако в ряде водных объектов она возрастает до умеренной. Тесные статистически значимые связи не отмечены.

Статистически значимые возрастающие и убывающие ***тенденции концентраций нитратов*** обнаружены в 41 водном объекте, что составляет около 58 % от общего числа исследованных участков. Среди основных тенденций на участках рек основную часть составляют возрастающие (на 27 участках, что составляет 66 % от общего числа выяв-

ленных тенденций). Достаточно велика и доля убывающих тенденций – около 34 % случаев.

По силе связи обнаруженные тенденции примерно поровну представлены зависимостями слабой силы (18 случаев, с преобладание прямых связей, 78 %) и средней (20 случаев, с преобладание прямых связей, 60 %). Случаи сильной (тесной) статистически значимой связи отмечены на участках р. Цна, г. Тамбов (r = -0,57), р. Лесной Тамбов, г. Рассказово (r = -0,51) и р. Степной Зай, г. Альметьевск (r = 0,51) (таблица 45).

Статистически значимые возрастающие и убывающие ***тенденции концентрации растворенного в воде кислорода*** обнаружены в 43 водных объектах, что составляет около 61 % от общего числа исследованных участков (таблица 45). Основные тенденции в воде рек в большинстве случаев представлены убывающими (30 участков или 70 % от общего числа трендов), возрастающие тенденции наблюдаются в 30 % случаев.

В основном обнаруженные тенденции (28 из 43) имеют статистически значимую связь слабой силы (из них в 78,5 % случаев связь обратная), однако в ряде водных объектов (для 14 участков рек) она возрастает до умеренной примерно с равномерным распределением: 6 тенденций возрастающие, 8 – убывающие.

Статистически значимые возрастающие и убывающие ***тенденции концентрации легкоокисляемых органических веществ (по $БПК_5$)*** обнаружены в 49 водных объектах, что составляет около 69 % от общего числа исследованных участков (таблица 45). Среди основных тенденций ЛООВ в воде рек представлены в основном убывающие (на 39 участках, что составляет 80 % от общего числа выявленных тенденций), оставшиеся 20 % обнаруженных тенденций – возрастающие.

Почти одинаковое количество обнаруженных тенденций имеют статистически значимую связь слабой (22) и умеренной (27) силы. В обеих группах преобладают обратные связи – убывающие тенденции: в 16 из 22 (73 %) и в 23 из 27 случаев (85 %). Тенденций с сильной статистически значимой связью для ЛООВ не отмечается.

Статистически значимые возрастающие и убывающие ***тенденции концентрации трудноокисляемых органических веществ (по ХПК)*** обнаружены в 48 водных объектах, что составляет 68 % от общего числа исследованных участков (таблица 45). Среди основных тенденций в воде рек представлены в основном убывающие (на 38 участках, что составляет 79 % от общего числа выявленных тенденций). Доля убывающих тенденций соответственно – около 21%.

В основном обнаруженные тенденции (35 случая из 48) имеют статистически значимую связь слабой силы (в 26 % случаев прямая и в 74 % – обратная), однако в ряде водных объектов (для 13 участков рек) она возрастает до умеренной. Тенденции средней силы связи в основном убывающие. Тенденций с сильной статистически значимой связью для ТООВ не отмечается.

Статистически значимые возрастающие и убывающие ***тенденции концентрации нефтепродуктов*** обнаружены в воде 56 участков реки, что составляет большую часть исследованных водных объектов в зонах лесостепей и степей (79 %). Среди основных тенденций нефтепродуктов в воде рек в данных зонах Европейской части России бóльшую часть составляют убывающие (на 46 участках – 82 % от общего числа случаев) и меньшую – возрастающие тенденции, выявленные только для 10 участков рек (18 %).

Более, чем в половине случаев (32 из 56) обнаруженная статистически значимая связь имеет среднюю силу (умеренная связь) (все они представлены убывающими трендами). Среди тенденций слабой силы связи (23 случая) примерно поровну обнаружено возрастающих и убывающих. Обратная сильная (тесная) статистически значимая связь между датой отбора и концентрацией нефтепродуктов обнаруживается в одном объекте – р. Хопер, устье (r = -0,53) (таблица 45).

Тенденции изменчивости содержания металлов в речных водах

В целом по металлам выявлено 164 статистически значимых тенденций из 229 возможных, что составляет 72 %. Количество тенденций распределено между металлами следующим образом: 57 тенденции выявлены по соединениям железа, по 48 – меди и цинку и 11 – по марганцу. В основном преобладают убывающие тенденции концентраций металлов в воде рек в лесостепной и степной зонах: для соединений железа – 88 %, меди – 81 %, цинка – 65 %. Для марганца характерно незначительное преобладание возрастающих тенденций (64 %) (таблица 46).

Поскольку за период исследований наблюдение за содержанием марганца в речных водах исследуемых зон ЕЧР было не столь регулярным, как по остальным металлам и на ряде водных объектов иногда отсутствуют определения концентраций (н.д.) или данных мало для проведения статистического анализа (м.д.), то объем выборки в данном случае составил всего 16 значений для каждой реки.

Таблица 46 – Значения коэффициента корреляции между датами отбора проб и концентрациями соединений металлов для участков рек в зонах лесостепей и степей ЕЧР (составлено по [178])

Номер*	Река	Пункт	Коэффициент корреляции для соединений			
			железа	меди	цинка	марганца
ЗОНА ЛЕСОСТЕПЕЙ						
XX. Среднерусская провинция						
2001	Дон	г. Воронеж	-0,22	-0,13	–	н.д.
2002		г. Данков	-0,11	0,31	0,53	н.д.
2003		г. Лебедянь	-0,14	0,35	0,49	м.д.
2004		г. Задонск	–	0,22	0,55	н.д.
2005	Северский Донец	с. Беломестное	-0,28	-0,49	-0,57	0,50
2006	Сосна (Быстрая Сосна)	г. Ливны	-0,20	0,12	0,27	н.д.
2007	Проня	пгт Серебрянь	–	–	–	–
2008	Упа	д. Орлово	–	-0,20	-0,17	-0,10
2009	Красивая Меча	г. Ефремов	-0,20	–	-0,10	-0,34
2010	Тихая Сосна	г. Алексеевка	-0,38	-0,55	-0,59	м.д.
2011	Нежеголь	г. Шебекино	-0,33	-0,56	-0,59	м.д.
2012	Тускарь	м. Свобода	0,18	-0,22	-0,16	м.д.
2013	Неручь	д. Орловка	-0,19	0,26	0,29	н.д.
2014	Суджа	сл. Замостье	–	-0,23	-0,16	м.д.
2015	Верда	г. Скопин	-0,22	-0,12	-0,11	–
2016	Короча	г. Короча	-0,22	-0,50	-0,55	м.д.
2017	Осколец	г. Губкин	-0,19	-0,45	-0,53	0,32
2018	Воронка	д. Ясная Поляна	-0,13	–	-0,10	-0,25
XXI. Окско-Донская провинция						
2101	Дон	г. Лиски	-0,16	–	0,16	н.д.
2102	Хопер	г. Борисоглебск	-0,19	-0,15	–	н.д.
2103		г. Балашов	–	-0,26	-0,12	м.д.
2104	Медведица	п. Лысые Горы	–	-0,28	-0,13	м.д.
2105	Воронеж	г. Липецк	-0,14	0,30	0,53	н.д.
2106		с. Старая Казинка	–	–	–	н.д.
2107	Цна	г. Тамбов	-0,17	–	–	0,45
2108	Битюг	п. Анна	-0,22	-0,27	-0,13	н.д.
2109	Матыра	с. Крутое	–	0,35	0,54	н.д.
2110	Усмань	Воронежский заповедник	–	-0,24	0,23	н.д.
2111	Карай	с. Подгорное	–	-0,25	-0,10	м.д.
2112	Становая Ряса	г. Чаплыгин	0,13	0,23	0,51	н.д.

Номер*	Река	Пункт	Коэффициент корреляции для соединений			
			железа	меди	цинка	марганца
2113	Лесной Воронеж	г. Мичуринск	-0,11	–	–	н.д.
2114	Лесной Там-бов	г. Рассказово	–	–	–	м.д.
XXII. Приволжская провинция						
2201	Свияга	г. Буинск	-0,53	-0,10	0,15	м.д.
2202	Ворона	г. Кирсанов	–	–	–	н.д.
2203	Барыш	п. Карсун	-0,28	-0,38	-0,34	м.д.
2204	Сызрань	с. Репьевка	-0,22	-0,20	-0,18	м.д.
2205	Инсар	г. Саранск	0,20	-0,19	-0,35	м.д.
2206		г. Рузаевка	-0,27	-0,22	-0,33	м.д.
2207	Атмисс	г. Каменка	-0,43	-0,17	-0,12	м.д.
2208	Гуща	с. Елшанка	-0,29	-0,21	-0,14	м.д.
2209	Тешнярь	п. Сосновоборск	-0,39	-0,13	-0,13	м.д.
XXIII. Кинельско-Камская провинция						
2301	Самара	пгт Алексеевка	-0,37	-0,13	–	0,10
2302	Сок	с. Красный Яр	-0,39	-0,16	–	–
2303	Большой Черемшан	пгт Новочерем-шанск	-0,16	–	-0,13	м.д.
2304	Падовая	г. Самара	-0,21	-0,17	–	0,14
XXIV. Бугульминско-Белебеевская провинция						
2401	Большой Кинель	пгт Тимашево	-0,37	-0,17	–	–
2402	Сок	п. Сергиевск	-0,31	–	–	0,15
2403	Степной Зай	г. Альметьевск	-0,56	-0,18	0,27	м.д.
2404	Сургут	г. Серноводск	–	–	–	-0,10
ЗОНА СТЕПЕЙ						
XXV. Провинция Общий Сырт						
2501	Самара	г. Бузулук	-0,20	–	–	н.д.
2502	Сакмара	с. Каргала	-0,19	–	–	н.д.
2503	Урал	п. Илек	-0,28	0,14	0,13	н.д.
2504	Салмыш	с. Буланово	-0,34	–	–	н.д.
2505	Ток	с. Ероховка	-0,39	–	–	н.д.
XXVI. Самаро-Иргизская провинция						
2601	Большой Ир-гиз	г. Пугачев	-0,10	-0,27	-0,13	м.д.
2602	Чапаевка	г. Чапаевск	-0,34	–	–	0,20
2603	Чагра	с. Новотулка	-0,32	–	–	–
XXVII. Хопер-Медведицкая провинция						
2701	Дон	г. Серафимович	0,27	–	0,22	м.д.

Номер*	Река	Пункт	Коэффициент корреляции для соединений			
			железа	меди	цинка	марганца
2702	Медведица	устье	0,23	–	0,17	н.д.
2703	Бузулук	с. Перевозниково	-0,19	–	–	н.д.
XXVIII. Донецко-Донская провинция						
2801	Дон	г. Павловск	-0,28	-0,12	–	н.д.
2802		с. Новая Калитва	-0,22	-0,16	–	н.д.
2803	Хопер	устье	0,19	–	0,19	н.д.
2804	Калитва	с. Раздолье	-0,18	-0,63	-0,42	м.д.
2805	Быстрая	х. Апанаскин	-0,34	-0,68	-0,55	м.д.
XXIX. Нижнедонская провинция						
2901	Дон	г. Волгодонск	0,40	–	0,10	н.д.
2902		г. Константиновск	-0,27	-0,60	-0,36	н.д.
2903		г. Семикаракорск	-0,36	-0,54	-0,34	н.д.
2904		п. Багаевский	-0,27	-0,75	-0,49	н.д.
2905		ст-ца Раздорская	-0,17	-0,62	-0,46	н.д.
2906	Северский Донец	р.п. Усть-Донецкий	–	-0,62	-0,37	м.д.
XXX. Северо-Кавказская и Западно-Предкавказская провинция						
3001	Кубань	г. Армавир	-0,31	-0,27	0,13	н.д.
3002		г. Кропткин	-0,34	-0,27	–	н.д.
3003		ст-ца Ладожская	-0,36	-0,30	–	н.д.
3004		г. Краснодар	-0,27	-0,12	0,08	н.д.

Примечания: *2001: 20 – номер провинции, 01 – порядковый номер реки в провинции; цветом выделены статистически значимые ранговые коэффициенты корреляции при $p<0,05$: зеленый цвет означает убывающую тенденцию, розовый – возрастающую;
м.д. – мало данных, н.д. – нет данных.

Статистически значимые возрастающие и убывающие ***тенденции концентраций соединений железа*** обнаружены в 57 водных объектах, что составляет около 80 % от общего числа исследованных участков в зонах (таблица 46). Основные тенденции распределены неравномерно: для 50 участков рек (или 88 % от общего числа тенденций) наблюдаются убывающие тенденции и лишь для 7 – возрастающие (12 %).

По силе обнаруженные статистически значимые тенденции характеризуются, как имеющие связь слабой силы (31 из 57) или умеренной (24 из 57). При этом тенденции слабой силы распределены следующим образом: 16 % случаев возрастающий тренд (прямая связь) и 84 % – обратная убывающая связь. Основные тенденции средней (или

умеренной) силы распределены еще менее равномерно – только для двух участков (8 % от числа случаев трендов данной силы) выявлен убывающий тренд, а для 22 – возрастающие тенденции средней силы (92 %). Обратная тесная связь (то есть убывающая тенденция) характерна только для двух участков: р. Свияга, г. Буинск (r = - 0,53) и р. Степной Зай, г. Альметьевск (r = - 0,56) (таблица 46).

Статистически значимые возрастающие и убывающие ***тенденции концентраций соединений меди*** обнаружены в 48 водных объектах, что составляет около 68 % от числа исследованных участков в зонах. Основные тенденции в воде рек преимущественно убывающие и составляют 81 % от числа случаев (для 39 участков), а для 9 участков (19 %) – возрастающие. По силе обнаруженные статистически значимые тенденции характеризуются, как имеющие связь слабой силы (25 из 48) или умеренной (13 из 48). В основном обнаруженные статистически значимые связи слабой и умеренной силы являются убывающими в 84 % и 62 % случаев соответственно.

Тесные обратные связи временной зависимости концентрации меди в воде характерны для 10 исследуемых водных объектов (21 %), в большинстве случаев относящихся к Донецко-Донской и Нижнедонской провинциям (рр. Калитва, Быстрая, Северский Донец и Дон). Это р. Тихая Сосна, г. Алексеевка (r = - 0,55), р. Нежеголь, г. Шебекино (r = - 0,56), р. Короча, г. Короча (r = - 0,50), р. Калитва, с. Раздолье (r = - 0,63), р. Быстрая, х. Апанаскин, (r = - 0,68), р. Северский Донец, р.п. Усть-Донецкий (r = - 0,62) и нижняя часть р. Дон от г. Константиновск до ст-цы Раздорская (от r = - 0,54 до - 0,75) (таблица 46).

Статистически значимые возрастающие и убывающие ***тенденции концентраций соединений цинка*** обнаружены в 48 водном объекте, что составляет около 68 % от общего их числа в изучаемой природной зоне. Преобладают убывающие тенденции концентраций соединений цинка в воде рек. Они выявлены на 31 участке (65 %). Возрастающие тенденции из общего числа случаев обнаружены для 17 исследованных участков, что соответственно составляет 35 %.

Большинство обнаруженных статистически значимых тенденций по силе характеризуются, как имеющие слабую связь (24 из 48) или умеренную (13 из 48). В основном статистически значимые связи слабой силы являются убывающими в 67 % случаев, умеренной силы – в 69 % случаях убывающие.

Прямые и обратные сильные (тесные) связи временной зависимости концентрации цинка в воде характерны для 11 исследуемых водных объектов (в 23 % случаях), в большинстве случаев относящихся к Среднерусской и Окско-Донской провинциям. Убывающие тенденции с тесной связью для соединений цинка выявлены на участках рек: р. Северский Донец, с. Беломестное (r = - 0,57), р. Тихая Сосна, г. Алексеевка (r = - 0,59), р. Нежеголь, г. Шебекино (r = -0,59), р. Короча, г. Короча (r = - 0,55), р. Осколец, г. Губкин (r = - 0,53) и р. Быстрая, хут. Апанаскин, (r = - 0,55). Прямые сильные (тесные) связи временной зависимости концентрации цинка в воде характерны для участков реки Дон в районе городов Данков (r = 0,53) и Задонск (r = 0,55), р. Воронеж, г. Липецк (r = 0,53), р. Матыра, с Крутое (r = 0,54) и р. Становая Ряса, г. Чаплыгин (r = 0,51) (таблица 46).

Концентрации соединений марганца за период с 1985 по 2015 гг. определялись в воде только 16 участков рек лесостепной и степной зон Европейской части России. Статистически значимые возрастающие и убывающие тенденции концентраций соединений марганца обнаружены в 11 водных объектах, что составляет 69 % от их числа в изучаемых природных зонах. Незначительно преобладают возрастающие тенденции концентраций, они выявлены на 7 речных участках (64 % от числа тенденций), для 4 исследованных участков отмечены убывающие тенденции (36 %) (таблица 46).

По силе обнаруженные статистически значимые тенденции характеризуются, как имеющие связь слабой силы (6) или умеренной (4) а также в одном случае - выявлена возрастающая тенденция с сильной связью. При этом тенденции слабой силы распределены следующим образом: в 4-х случаях возрастающий тренд (прямая связь) и в 2-х – обратная убывающая зависимость. Основные тенденции средней (или умеренной) силы распределены равномерно – они характерны для 4-х участков по 2 тенденций. Сильная (тесная) связь характерна только для одной возрастающей тенденции – это р. Северский Донец, с. Беломестное (r = 0,50).

В целом по всем водным объектам зоны смешанных и широколиственных лесов и всем гидрохимическим показателям обнаружено 688 статистически значимых трендов: 264 возрастающих и 424 убывающих тенденций концентраций химических веществ из 1066 возможных случаев. Соответственно убывающих тенденций выявлено больше, чем возрастающих, а в 35 % случаях четких статистически значимых тенденций не было обнаружено.

В абсолютных значениях больше всего тенденций обнаружено в изменении содержания в речных водах соединений железа (61), нефтепродуктов (60) и сульфатов (58). Изменчивость количества статистически значимых тенденций не высока. По всем веществам, кроме марганца, обнаружено от 35 до 61 тенденции. Доля водных объектов, в химическом составе воды которых выявлены тренды составила от 47 до 81 %, то есть в половине и более исследуемых участков рек идут значимые изменения концентраций химических веществ (возрастающие или убывающие) – происходит трансформация компонентного состава воды.

Если анализировать количественное распределение тенденций по каждому водному объекту, то можно сгруппировать их в три группы.

Первую группу составляют участки рек, для которых из 14-15 гидрохимических показателей выявлено меньше всего тенденций в изменчивости химического состава воды. Таких участков оказалось всего 10, и для них характерно наличие от 1 до 6 статистически значимых тенденций, что может свидетельствовать об относительной устойчивости химического состава воды. Это характерно для участков рек Сургут, Карай, Проня, Медведица, Дон (г. Лиски), Хопер, Воронеж, Большой Черемшан и Чапаевка.

Вторую группу участков рек составили те, у которых выявлено максимальное количество тенденций – по 10-11 из 15 гидрохимических показателей. Таких водных объектов оказалось 23 в зонах лесостепей и степей. С одной стороны, большое количество тенденций может говорить о происходящей трансформации компонентного состава воды и об его низкой устойчивости во времени. Но с другой стороны, для данных участков рек преобладают убывающие тенденции, что может свидетельствовать об улучшении состояния. Максимальное количество – по 11 тенденций выявлено на 5-и участках: р. Упа – д Орлово, р. Тихая Сосна – г. Алексеевка, р. Осколец – г. Губкин, р. Тешнярь – п. Сосновоборск и р. Быстрая – хут. Апанаскин. Для данных речных участков преобладают убывающие тенденции. Например, для участка р Тешнарь – 10 из 11 тенденций с обратной связью. Тенденции характеризуются слабой или умеренной статистической связью (коэффициент корреляции меняется от r = - 0,12 до r = - 0,39). Для большинства участков рек второй группы выявлены убывающие тенденции по ОВ, нефтепродуктам и соединениям тяжелых металлов.

Третью группу водных объектов по количеству тенденций составляют те, для которых выявлено среднее количество трендов – от 7 до 9. Это наибольшая группа, куда

попадают более половины (60 %) всех исследуемых участков рек в лесостепной и степной зонах ЕЧР. В подавляющем большинстве речных участков доминируют убывающие тенденции (это характерно для 31 участка из 42). Преобладание трендов возрастающей направленности выявлено в изменчивости химического состава 9 участков рек в бассейне Дона – р. Дон (гг. Задонск, Данков, Лебедянь, Серафимович и Волгодонск), р. Матыра (с. Крутое), р. Медведица (устье) и р. Нежеголь (г. Шебекино). В целом для этой группы рек наблюдается преобладание возрастающих тенденций (особенно по ионам магния и сульфатам) на фоне снижения содержания органических веществ и соединений тяжелых металлов. Это может быть связано со снижением водности в южных районах ЕЧР и влиянием климатических изменений (увеличением испаряемости, нарушением внутригодового распределения водного стока, увеличением температуры и др.).

Распределение основных тенденций изменчивости концентраций химических веществ в речных водах лесостепной и степной зон ЕЧР приведено на рисунке 15. Выявлен разнонаправленный характер изменчивости тенденций. Так доля убывающих тенденций меняется от 3 % (ионы магния) до 70 % (соединения железа), возрастающих – от 10 % по соединения железа до 52 и 55 % по магнию и сульфатам соответственно. Такой значительный территориальный охват процессом возрастания ионов магния и сульфатов косвенно указывает на усиление процесса засоления речных вод в степной зоне. Количество водных объектов, в которых по тем или иным показателям тренд не выявлен, меняется в процентном отношении от 18 % по сульфатам до 54 % по содержанию кальция в речных водах зон лесостепей и степей ЕЧР (рисунок 15).

Исследуемые гидрохимические показатели можно разделить на группы:

1) для ионов кальция (54 %), гидрокарбонатов и магния (по 45 %) наблюдается преобладание случаев отсутствия трендов;

2) для сульфатов (55 %) и ионов магния (52 %), гидрокарбонатов (42 %) и нитратов (38 %) характерна большая доля возрастающих трендов;

3) для соединений железа (70 %), нефтепродуктов (65 %), ОВ (54-55 %) и соединений меди (55 %) выявлено преобладание убывающих тенденций;

4) в изменчивости концентраций соединений железа выявлена наиболее высокая доля – убывание концентраций наблюдается на 70 % участков рек лесостепной и степной зоны ЕЧР.

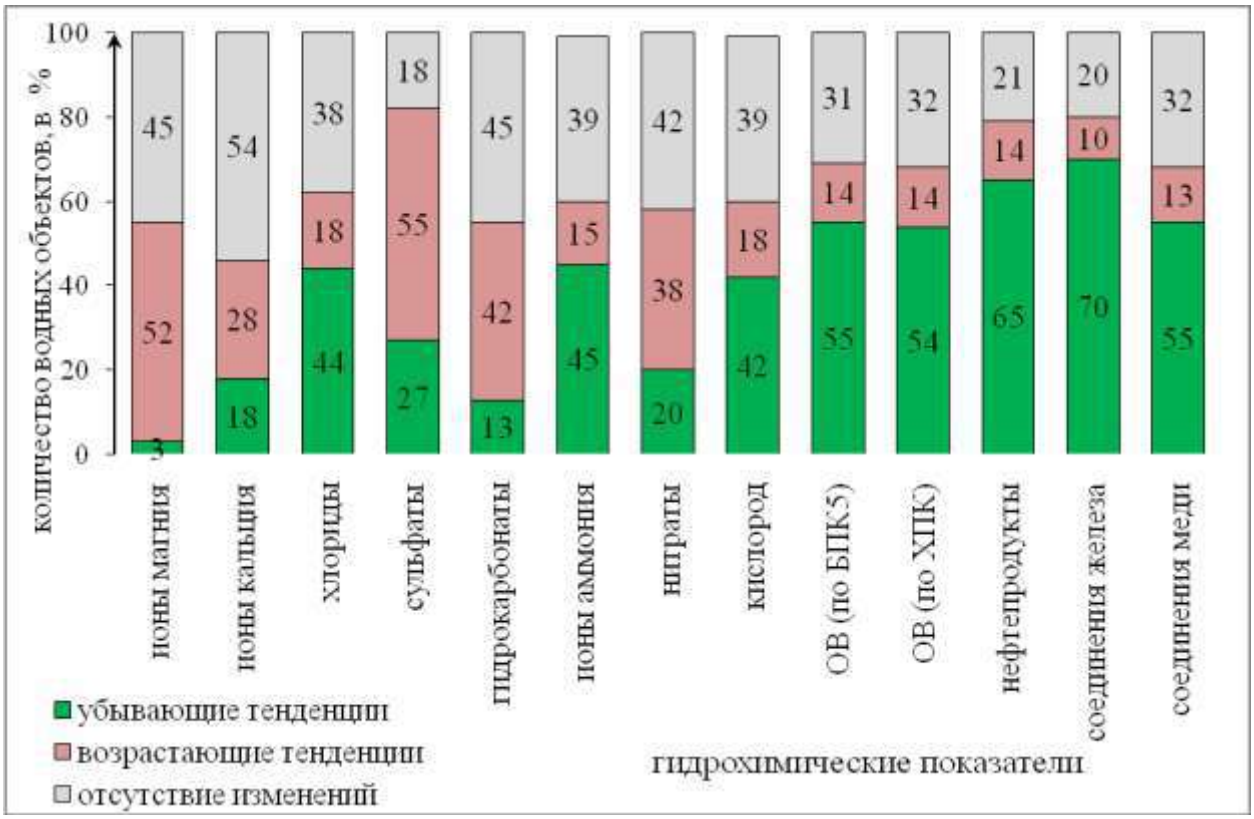


Рисунок 15 – Распределение основных тенденций изменчивости концентраций химических веществ в речных водах зон лесостепей и степей ЕЧР

Таким образом, для речных участков в зонах лесостепей и степей ЕЧР корреляционный анализ данных о химическом составе воды показал, что в большинстве случаев наблюдается либо отсутствие статистически значимых трендов, либо присутствуют убывающие тенденции. Исключение составили ионы магния, сульфаты, гидрокарбонаты и нитраты, для которых выявлено преобладание возрастающих трендов.

6.2 Основные источники загрязнения речных вод

В степной зона ЕЧР большую часть занимает бассейн Нижнего Дона, представленный водосборами своих крупных притоков: Северского Донца, Тузлова, Маныча и Сала. На водосборах этих рек преобладают аграрно-индустриальные виды воздействий. Это вызвало заметную трансформацию водосборных территорий малых рек степной зоны и ухудшение в целом экологической обстановки на Юге ЕЧР [73], трансформацию химического состава речных вод степной зоны [76, 231].

В бассейнах Северского Донца и Тузлова «развита горнодобывающая, энергетическая, машиностроительная, химическая, пищевая и другие отрасли промышленности. В аграрном секторе преобладает производство зерновых и технических культур при слабой переработке сельскохозяйственной продукции. Широко развита транспортная сеть. Землепользование в регионе <…> фактически моноотраслевое аграрное». В пределах бассейна Нижнего Дона на территории Ростовской области «на протяжении многих десятилетий угольная промышленность составляла основу специализации большинства городских поселений данной территории, обеспечивая занятость местной и прибывающей из других районов страны рабочей силы, стимулируя возникновение и динамическое развитие обрабатывающей промышленности (черной металлургии, машиностроения, химической, легкой, промышленности строительных материалов), а также производственной и социальной инфраструктуры» [77, с. 22].

Основные источники антропогенной нагрузки

В пределах Ростовской области часть бассейна Нижнего Дона расположена в границах угольного бассейна – Восточного Донбасса. Эта территория охватывает западную часть Ростовской области и совмещена с водосборами рек Северский Донец и Тузлов, а также является «одним из самых густонаселенных районов России. В центральной его части проживает порядка 100 человек на квадратный километр, к периферии плотность населения сокращается до 20 чел/км^2. В структуре антропогенного воздействия на окружающую среду региона наибольшую роль играют сельскохозяйственная (аграрная), транспортная и промышленная нагрузки» [77, с. 26].

«Благоприятные природные условия (отсутствие значительных температурных амплитуд, плодородие почв, развитая речная сеть) способствовали развитию в регионе пахотного земледелия, специализирующемся на производстве зерна и некоторых технических культур (преимущественно подсолнечника)». На данной территории «пахотные земли занимают большую часть площади административных районов (в среднем 61,1%) <...> Следует отметить, что при таких высоких удельных площадях распаханных земель, исследуемая территория в незначительной степени нуждается в мелиоративных мероприятиях, которые могли бы существенно увеличить агрогенную нагрузку. Наиболее характерным видом мелиораций для засушливой степной зоны является орошение, которому подвергается лишь 0,5% земель» в пределах бассейнов рек Северский Донец и Тузлов, «что значительно меньше среднеобластного показателя (3,3 %)» [77, с. 26].

По данным В.Е. Закруткина с соавторами «поступление минеральных удобрений на поля региона отличается значительной дифференциацией – от 10,4 кг/га в Каменском районе до 46,5 кг/га – в Красносулинском. При этом в целом в Восточном Донбассе этот показатель в 2 раза ниже, чем в среднем по Ростовской области (41,5 кг/га). Интенсивность ведения сельского хозяйства, оцениваемая по обеспеченности основными фондами (используемой в хозяйстве техники) незначительно варьирует в пределах изучаемой территории и в целом ниже среднего уровня по Ростовской области» [77, с. 27].

Значительное воздействие на экологическое состояния водосборов рек и качества воды является животноводческий комплекс, основу которого здесь составляет скотоводство. «Удельное поголовье скота в среднем выше общеобластного показателя (5,9 гол./100 га), варьируя от 5,2 в Белокалитвенском районе до 7,6 гол. /100 га в Октябрьском. Таким образом, общая сельскохозяйственная нагрузка в районах Восточного Донбасса незначительно отклоняется от средних значений для Ростовской области в целом, из чего следует, что она не могла служить причиной ощутимого изменения экологической ситуации в пределах территории» [77, с. 27].

Определенное косвенное воздействие на состояние речных вод оказывают различные виды транспорта: автомобильный, железнодорожный и водный. Как отмечается в работе [77] «в структуре транспортной нагрузки в пределах Восточного Донбасса существенная роль принадлежит именно автомобильному транспорту, поскольку на его долю приходится около 75 % протяженности всех магистралей, в то время как на железнодорожный и водный – соответственно 20 и 5 %.... Поскольку основной вклад в изменение гидроэкологической ситуации вносит водный транспорт, а как показано выше в структуре транспортной нагрузки он занимает резко подчиненное положение, то можно сделать вывод о том, что транспортная нагрузка в целом также не оказывает заметного влияния на качество поверхностных вод» [77, с. 28].

По данным многочисленных исследований и статистической отчетности наибольший вклад в загрязнение водных объектов (до 50 % и более) вносят различные предприятия напрямую за счет сброса сточных вод и опосредованно с выбросами загрязняющих веществ в атмосферу. Для описываемой территории бассейнов Северского Донца и Тузлова характерно «развитие топливно-энергетического комплекса на базе использования местного угля и наличие трудовых ресурсов», что обусловило «формирование здесь многочисленных предприятий машиностроения, металлургических, химиче-

ских производств, объектов жилищно-коммунального хозяйства, совокупная деятельность которых формирует промышленную нагрузку. Индустриальные объекты неравномерно распределены по территории Восточного Донбасса. Наибольшая концентрация производственных мощностей наблюдается в Октябрьском районе, где размещается более 80 предприятий. Здесь же располагается наиболее мощный источник воздействия на окружающую среду в пределах Восточного Донбасса – Новочеркасская ГРЭС, выбросы которой составляют половину поступления загрязняющих веществ от всех стационарных источников Ростовской области» [70, с. 28].

В пределах бассейна Северского Донца «из предприятий энергетики также следует отметить ТЭС, расположенную в г. Красный Сулин и поставляющую ежегодно более 6000 тыс. тонн поллютантов. Весомый вклад в загрязнение вносят предприятия ОАО «Ростовуголь» и ОАО «Гуковуголь» отдельные производственные площадки которых достаточно равномерно расположены во всех административных районах Восточного Донбасса» [77, с. 28].

Согласно данным В.Е. Закруткина и др. «удельная техногенная нагрузка, оцениваемая по суммарному объему поступающих загрязняющих веществ на единицу площади, для большинства районов ниже среднего ее значения для Ростовской области (1,3 т/км^2)». Однако в границах двух исследуемых бассейнов рек она меняется значительно от 0,005 т/км^2 (Родионово-Несветайский район в бассейне Северского Донца) до 33,27 т/км^2 в бассейне Тузлова (гг. Новочеркаск и Шахты). При этом формируемый высокий средний показатель техногенной нагрузки «для Донбасса в целом (7,5 т/км^2) обусловлен локализацией в Октябрьском и Красносулинском районах крупнейших региональных объектов теплоэнергетики, обеспечивающих основной вклад в поступление загрязняющих веществ в окружающую среду» [77, с. 29].

Несмотря на процесс реструктуризации угольной промышленности и закрытие большинства угольных шахт в региона в середине 90-х годов в настоящее время влияние этой отрасли на состояния окружающей среды достаточно весомо, особенно на природные воды (поверхностные и подземные). Большинство изменений в гидроэкологической ситуации в бассейнах рек Северский Донец и Тузлов связаны с влияние действующих и недействующих объектов угледобывающей промышленности и сопутствующих производств и объектов [71, 76, 77, 213].

Отличительной особенностью водопользования в бассейне Северского Донца (в пределах Ростовской области) является интенсивное использование подземных вод для различных хозяйственных нужд и около 70 % этих вод используется безвозвратно. По данным ряда исследователей «в результате некомпенсированного изъятия воды водный сток Северского Донца в 90-е годы по сравнению с 50-ми годами уменьшился на 30 %, а ионный увеличился вдвое, главным образом вдвое за счет увеличения техногенной составляющей» [46, с. 11].

В исследованиях сотрудников кафедры геоэкологии и прикладной геохимии ЮФУ под руководством В.Е. Закруткина изучено «распределение техногенных объектов, связанных с угледобывающим комплексом, в пределах двух основных речных бассейнов Восточного Донбасса. Все они в той или иной степени негативно влияют на компоненты окружающей среды. Однако на гидроэкологическую ситуацию <… > решающее влияние, как показали наши ранние исследования <… >, оказывают техногенные воды, поступающие из шахт (в основном ликвидированных) и вытекающие из породных отвалов. На протяжении последних 20 лет в реки Восточного Донбасса ежегодно поступает от 30 до 40 млн. $м^3$ техногенных шахтных вод. Последние по сравнению с подземными более минерализованы, содержат аномально высокие количества сульфатов, хлоридов, натрия, магния, железа, марганца и алюминия» [77, с. 30]. В таблице 47 приведены данные о техногенных источниках загрязнения речных вод в бассейнах Северского Донца и Тузлова, связанные с угледобывающей промышленностью.

По данным исследований В.В. Приваленко [170] в предшествующие годы ежегодно с техногенными шахтными водами в речную сеть двух бассейнов поступало около 320 тыс. т загрязняющих веществ, из них 200 тыс. в реки бассейна Тузлова, а среди сбрасываемых веществ около половины объема приходится на сульфаты. При этом дополнительное «воздействие угольных шахт на гидроэкологическую обстановку усиливается за счет вод, вытекающих из-под оснований породных отвалов. Углепородные отвалы, подверженные воздействию атмосферных осадков, поверхностных вод, формируют собственные высокоминерализованные водопроявления» [77, с. 32].

Таблица 47 – Количество техногенных источников угольной промышленности по бассейнам рек Восточного Донбасса [77, с. 32]

Техногенный источник		Речной бассейн	
		Северского Донца	*Тузлова*
Шахты	действующие	10	5
	недействующие	45	32
Обогатительные фабрики	действующие	5	5
	недействующие	3	4
Самопроизвольные выходы шахтных вод		23	18
Сброс шахтных вод		11	9
Пруды-отстойники		30	23
Породные отвалы		302	117
Всего источников		428	213
Плотность размещения источников, ед./тыс км^2		21,6	45,5

Такой высокий уровень антропогенного воздействия на речную сеть формирует целый комплекс экологических проблем в степной зоне, особенно остро проявляются в регионе гидроэкологические проблемы в условиях засушливого климата и пониженной водности малых и средних рек.

Гидроэкологические проблемы малых рек степной зоны

В степной зоне основной водной артерией является река Дон. Малые реки – важнейшая составляющая единой речной системы бассейна Дона. На территории Ростовской области протекает 165 малых рек общей протяженностью 9565 км, образующих 26 бассейнов [172]. На долю рек длиной 100-500 км и более приходится всего 0,77 %. Большую часть гидрографической сети в бассейне Нижнего Дон занимают малые водотоки, которые в степной зоне являются основными источниками обеспечения водой населенных пунктов, промышленности и сельскохозяйственного производства. В условиях полузасушливого климата, с малоснежной зимой и продолжительным жарким летом, их экологическое состояние приобретает жизненно важное значение [224, 267].

В среднем «на водосборах малых рек и в их прибрежных зонах сосредоточено около 44 % городского и 90 % сельского населения страны. Малые и средние водотоки активно эксплуатируются и они наиболее чутко реагируют на прямые (водозабор, сброс) и косвенные (динамические процессы на водосборной площади) антропогенные воздействия» [224, с. 136].

Деградация малых и средних рек особенно интенсивно происходила в последние три десятилетия из-за распашки земель до уреза воды, размыва плотин и других перегораживающих сооружений. В результате этого стали исчезать ручейки и родники, подпитывающие малые реки, что в свою очередь привело к заиливанию рек, зарастанию их болотной растительностью, заболачиванию и засолению степных земель, уменьшению стока и ухудшению качества воды [224, 267].

Заиливанение малых рек приводит к подъему уровня грунтовых вод и заболачиванию пойм, которые становятся непригодными для какого-либо использования. Повышается вероятность затопления в период весеннего половодья или сильного дождевого паводка сел, деревень и городов, пахотных земель. На юге лесостепной зоны заиление малых рек ведет к катастрофическому изменению всей речной экосистемы – нарушается водный режим и развивается процесс опустынивания» [77, 224].

В бассейне Нижнего Дона именно устьевая область реки испытывает высокую антропогенную нагрузку за счет высокой концентрации водоемких отраслей хозяйства [224], что усиливает все перечисленные выше экологические проблемы. Здесь произрастают редкие и уникальные для степной зоны растения, обитают находящиеся под угрозой исчезновения виды (белуга, осётр, степная тиркушка, орлан-белохвост, карабуля и др.). Дельта в значительной мере определяет рыбные ресурсы Дона и Азовского моря, так как в дельтовых протоках и ериках многие виды рыб размножаются, зимуют и идут на нерест. Эта территория находится на основном пролётном пути многих птиц. Более 100 видов пернатых здесь гнездятся [123]. Сегодня околоводных птиц стало гораздо меньше – основная причина пересыхание озер, водотоков и водоёмов в бассейне Нижнего Дона. Прогнозируют, что дальнейшее иссушение прудов и рек, уменьшение запасов пресной воды в дельте Дона приведёт к смене миграционных потоков птиц.

Для рек степной зоны ЕЧР остро стоит проблема загрязнения берегов рек твердыми бытовыми отходами жизнедеятельности человека. «Пластик и различные полимерные материалы разрушаются под действием атмосферных осадков и солнечной радиации, и их микрочастицы попадают в речную сеть и в подземные воды. Таким образом, происходит не только механическое загрязнение береговой линии, но и химическое загрязнение воды рек и ухудшение её качества» [224, с. 136].

Наблюдаются процессы засоления речных вод и загрязнение соединениями тяжелых металлов, что обусловливает не только снижение качества речных вод, но и дегра-

дацию водных экосистем в целом. Существует проблема бактериального и токсического загрязнения воды рек и родников, особенно в пределах городов и населенных пунктов. Ежегодно сотрудниками Роспотребнадзора обнаруживают бактериальное загрязнение во всех 13 крупных родниках г. Ростова-на-Дону [272]. Минерализация воды родников превышает норму в 1,5 - 2,5 раза. А, как известно, постоянное использование воды с повышенным содержанием солей может привести к возникновению заболеваний опорно-двигательного аппарата, моче- и желчекаменным болезням.

В степной зоне ЕЧР в теплый период усиливается процесс эвтрофирования рек и водоемов. «Каждое лето мы наблюдаем эффект «цветения» воды при усилении процесса антропогенного эвтрофирования водоёмов, сопровождающийся замором рыб. Массовые заморы рыб в бассейне Нижнего Дона наблюдаются практически каждый год. Наиболее массовые заморы были зафиксированы в реках Тузлов (2007, 2017) и Койсуг (2009, г. Батайск), в прудах в районе г. Новочеркасск (2012), в реках Дон (2013) и Кадамовка (2016), а также в акватории Таганрогского залива (2015) Азовского моря» [224, с. 137].

Таким образом, все гидроэкологические проблемы рек степной зоны (в бассейне Нижнего Дона) и их последствия тесно связаны, и в конечном итоге они приводят к деградации малых и средних рек. Деградация малых рек – одна из самых острых экологических проблем современности не только в степной зоне ЕЧР, но и в мире в целом. Одна из основных причин деградации и исчезновения малых водотоков – это экстенсивное природоразрушительное земледелие [224].

6.3 Пространственно-временная изменчивость качества воды и состояния речных вод по гидрохимическим показателям

Оценка изменчивости качества речных вод проведена на основе многолетней гидрохимической информации и расчета значений УКИЗВ. Для оценки временной динамики рассмотрены класс качества и степень загрязненности воды исследуемых рек в зонах лесостепей и степей с разбивкой информации по пятилетиям (за многолетний период с 1985 по 2015 гг.). Результаты обобщения представлены в таблице 48, анализ которых указывает на заметную пространственную неоднородность качества речных вод по степени загрязненности. Качество воды и состояние загрязненности участков рек, проте-

кающих в пределах зон лесостепей и степей ЕЧР, за многолетний период можно характеризовать как (таблица 48):

- «очень загрязненные» и «загрязненные» (3-й класс качества воды) – большинство участков рек Окско-Донской провинции и около половины участков – Среднерусской провинции;

- переходные от «загрязненных» или «очень загрязненных» к «грязным» (4-й класс качества) более половины участков рек всех степных провинций;

- стабильно «грязные» (4-й класс качества воды) – это большинство участков рек Кинельско-Камской и Бугульминско-Белебеевской провинций, а также около половины из Приволжской провинции.

В таблице 48 для каждого исследуемого участка реки приведена тенденция изменения качества воды – улучшение, стабилизация или ухудшение. Анализ преобладающих тенденций качества воды рек внутри каждой ФГП и в целом внутри зон лесостепей и степей показал, что:

Таблица 48 – Пространственно-временная изменчивость степени загрязненности речных вод в зонах лесостепей и степей ЕЧР (составлено по [63, 150])

№ *	Река	Пункт	Степень загрязненности водной среды						Тенденция
			1985-1989	1990-1994	1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-2015	
ЗОНА ЛЕСОСТЕЙ									
XX. Среднерусская провинция									
2001	Дон	г. Воронеж	грязная	грязная	грязная	грязная	очень загрязненная	очень загрязненная	**улучшение**
2002	Дон	г. Данков	грязная	очень загрязненная	очень загрязненная	загрязненная	грязная	грязная	***ухудшение***
2003	Дон	г. Лебедянь	загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	стабилизация
2004	Дон	г. Задонск	очень загрязненная	очень загрязненная	загрязненная	загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	стабилизация
2005	Северский Донец	с. Беломестное	н.д.	грязная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	**улучшение**
2006	Сосна (Быстрая Сосна)	г. Ливны	грязная	очень загрязненная	загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	стабилизация
2007	Проня	пгт Серебрянь	н.д.	очень загрязненная	загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	стабилизация
2008	Упа	д. Орлово	н.д.	**экстремально и очень грязная**	**очень грязная**	грязная	грязная	грязная	**улучшение**
2009	Красивая Меча	г. Ефремов, выше города	**очень грязная**	**экстремально грязная**	грязная	грязная	очень загрязненная	очень загрязненная	**улучшение**
2010	Тихая Сосна	г. Алексеевка	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	загрязненная	**улучшение**
2011	Нежеголь	г. Шебекино,	н.д.	грязная	очень загряз-	очень за-	загрязненная	загрязнен-	**улучшение**

№ *	Река	Пункт	Степень загрязненности водной среды						Тенденция
			1985-1989	1990-1994	1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-2015	
		выше города			ненная	грязненная		ная	
2012	Тускарь	г. Курск	грязная	грязная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	**улучшение**
2013	Неручь	д. Орловка	загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязнен-ная	стабилизация
2014	Суджа	сл. Замостье	грязная	очень загряз-ненная	очень загряз-ненная	загрязненная	загрязненная	загрязнен-ная	**улучшение**
2015	Верда	г. Скопин	загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязнен-ная	стабилизация
2016	Короча	г. Короча	загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязнен-ная	стабилизация
2017	Осколец	г. Губкин	загрязненная	очень загряз-ненная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязнен-ная	стабилизация
2018	Воронка	д. Ясная По-ляна	загрязненная	загрязненная	загрязненная	очень за-грязненная	загрязненная	загрязнен-ная	стабилизация
XXI. Окско-Донская провинция									
2101	Дон	г. Лиски	грязная	грязная	грязная	грязная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	**улучшение**
2102	Хопер	г. Борисог-лебск	очень загряз-ненная	очень загряз-ненная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	загрязненная	загрязнен-ная	стабилизация
2103	Хопер	г. Балашов, выше города	н.д.	очень загряз-ненная	грязная и очень загряз-ненная	очень за-грязненная	грязная и очень загряз-ненная	очень за-грязненная	нет
2104	Медведи-ца	р.п. Лысые Горы	н.д.	грязная и очень загряз-ненная	грязная	грязная и очень за-грязненная	грязная и очень загряз-ненная	грязная	стабилизация
2105	Воронеж	г. Липецк	грязная	очень загряз-ненная	очень загряз-ненная	загрязненная	очень загряз-ненная	грязная	нет
2106	Воронеж	с. Старая Ка-	грязная	очень загряз-	очень загряз-	загрязненная	очень загряз-	очень за-	стабилизация

№ *	Река	Пункт	Степень загрязненности водной среды						Тенденция
			1985-1989	1990-1994	1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-2015	
		зинка		ненная	ненная		ненная	грязненная	
2107	Цна	г. Тамбов	грязная	грязная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	очень загряз-ненная	грязная	нет
2108	Битюг	р.п. Анна	н.д.	грязная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	грязная и очень загряз-ненная	очень за-грязненная	нет
2109	Матыра	с. Крутое	грязная	загрязненная	загрязненная	очень за-грязненная	очень загряз-ненная	загрязнен-ная	стабилизация
2110	Усмань	Воронежский заповедник	н.д.	очень загряз-ненная	очень загряз-ненная	загрязненная	загрязненная	загрязнен-ная	**улучшение**
2111	Карай	с. Подгорное	н.д.	грязная и загрязненная	грязная	очень за-грязненная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	**улучшение**
2112	Становая ряса	г. Чаплыгин	грязная	загрязненная	очень загряз-ненная	загрязненная	загрязненная	загрязнен-ная	стабилизация
2113	Лесной Воронеж	г. Мичуринск	грязная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязненная	загрязнен-ная	стабилизация
XXII. Приволжская провинция									
2201	Свияга	г. Буинск	н.д.	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	стабилизация
2202	Ворона	г. Кирсанов	н.д.	загрязненная	загрязненная	слабо за-грязненная и загрязненная	слабо загряз-ненная	слабо за-грязненная	**улучшение**
2203	Барыш	р.п. Карсун, выше	н.д.	грязная	грязная	очень за-грязненная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	**улучшение**
2204	Сызрань	с. Репьевка	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	стабилизация
2205	Инсар	г. Саранск	**экстремально грязная**	**очень гряз-ная**	**очень гряз-ная**	**очень гряз-ная**	грязная	грязная	**улучшение**
2206	Инсар	г. Рузаевка	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	стабилизация
2207	Атмисс	г. Каменка	н.д.	грязная	грязная	грязная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	**улучшение**

№ *	Река	Пункт	Степень загрязненности водной среды						Тенденция
			1985-1989	1990-1994	1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-2015	
2208	Гуща	с. Елшанка	н.д.	грязная	грязная	грязная	грязная	очень за-грязненная	стабилизация
2209	Тешнярь	п. Сосново-борск	н.д.	грязная	грязная	грязная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	**улучшение**
XXIII. Кинельско-Камская провинция									
2301	Самара	пгт Алексеев-ка	н.д.	грязная	грязная	грязная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	**улучшение**
2302	Сок	с. Красный Яр	н.д.	грязная	грязная	грязная	очень загряз-ненная	грязная	стабилизация
2303	Боль.Черемшан	пгт Новочеремшанск	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	стабилизация
2304	Падовая	г. Самара	н.д.	грязная	грязная	грязная	**очень грязная**	**очень грязная**	***ухудшение***
XXIV. Бугульминско-Белебеевская провинция									
2401	Большой Кинель	пгт Тимашево	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	стабилизация
2402	Сок	р.п. Сергиевск	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	стабилизация
2403	Степной Зай	г. Альметьевск	н.д.	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	стабилизация
2404	Сургут	г. Серноводск	н.д.	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	стабилизация
ЗОНА СТЕПЕЙ									
XXV. Провинция Общий Сырт									
2501	Самара	г. Бузулук	грязная	грязная	грязная	очень за-грязненная	грязная	очень за-грязненная	нет
2502	Сакмара	с. Каргала	грязная	грязная	грязная	очень за-грязненная	грязная	очень за-грязненная	нет
2503	Урал	п. Илек	грязная	грязная	грязная	очень за-грязненная	грязная	очень за-грязненная	нет
2504	Салмыш	с. Буланово	грязная	грязная	грязная	очень за-	грязная	очень за-	нет

№ *	Река	Пункт	Степень загрязненности водной среды						Тенденция
			1985-1989	1990-1994	1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-2015	
						грязненная		грязненная	
2505	Ток	с. Ероховка	грязная	грязная	грязная	очень за-грязненная	очень загряз-ненная	загрязнен-ная	улучшения
XXVI. Самаро-Иргизская провинция									
2601	Большой Иргиз	г. Пугачев	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	стабилизация
2602	Чапаевка	г. Чапаевск	**очень гряз-ная**	**экстремаль-но грязная**	**экстремально грязная**	грязная	грязная	грязная	улучшения
2603	Чагра	с. Новотулка	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	стабилизация
XXVII. Хопер-Медведицкая провинция									
2701	Дон	г. Серафимо-вич	грязная	грязная	грязная	очень за-грязненная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	улучшения
2702	Медведи-ца	устье	грязная	грязная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	очень загряз-ненная	загрязнен-ная	улучшения
2703	Бузулук	с. Перевозни-ково	грязная	грязная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	очень загряз-ненная	загрязнен-ная	улучшения
XXVIII. Донецко-Донская провинция									
2801	Дон	г. Павловск	грязная	грязная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	улучшения
2802	Дон	с. Новая Ка-литва	н.д.	грязная	н.д.	очень за-грязненная	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	улучшения
2803	Хопер	устье	н.д.	грязная	очень загряз-ненная	н.д.	очень загряз-ненная	очень за-грязненная	улучшения
2804	Калитва	с. Раздолье	н.д.	грязная	грязная	очень за-грязненная	грязная	грязная	стабилизация
2805	Быстрая	х. Апанаскин	н.д.	грязная	грязная	очень за-грязненная	грязная	грязная	стабилизация
XXIX. Нижнедонская провинция									
2901	Дон	г. Волгодонск	очень загряз-	очень загряз-	очень загряз-	очень за-	загрязненная	очень за-	стабилизация

№ *	Река	Пункт	Степень загрязненности водной среды						Тенденция
			1985-1989	1990-1994	1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-2015	
	Дон		ненная	ненная	ненная	грязненная		грязненная	
2902		г. Константиновск	грязная	н.д.	очень загрязненная	загрязненная	загрязненная	очень загрязненная	стабилизация
2903		г. Семикаракорск	грязная	грязная	грязная	очень загрязненная	очень загрязненная	загрязненная	улучшения
2904		р.п. Багаевский	н.д.	грязная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	улучшения
2905		ст. Раздорская	грязная	грязная	грязная	очень загрязненная	грязная	очень загрязненная	нет
2906	Северский Донец	р.п. Усть-Донецкий	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	грязная	стабилизация
XXX. Северо-Кавказская и Западно-Предкавказская провинции									
3001	Кубань	г. Армавир	н.д.	грязная	грязная	очень загрязненная	очень загрязненная	очень загрязненная	улучшения
3002		г. Кропоткин	**очень грязная**	**очень грязная**	грязная	грязная	грязная	очень загрязненная	улучшения
3003	Кубань	ст. Ладожская	н.д.	грязная	грязная	грязная	очень загрязненная		улучшения
3004		г. Краснодар	грязная	грязная	грязная	грязная	очень загрязненная		улучшения

Примечания: * 2001: 20 – номер провинции, 01 – порядковый номер реки; н.д. – нет данных.

Цветовое обозначение класса качества воды (ККВ):

– 1-й ККВ – условно чистая
– 2-й ККВ – слабо загрязненная
– 3-й ККВ (разряды «А» и «Б») – загрязненная и очень загрязненная
– 4-й ККВ (разряды «А» и «Б») – грязная
– 4-й ККВ (разряды «В» и «Г») – очень грязная
– 5-й ККВ – экстремально грязная

1) большинство исследуемых участков рек имеют тенденцию к стабилизации (43,0 %) или улучшению качества воды (42,0 %) в многолетнем аспекте;

2) наибольшее количество участков рек с тенденцией к улучшению качества воды находятся в более южных провинциях данных природных зон в таких, как Приволжская (XX), Хопер-Медведицкая (XXVII), Донецко-Донская (XXVIII) и объединенная Северо-Кавказская и Западно-Предказвазская (XXX) (см. рисунок 9);

3) тенденция к ухудшению качества воды выявлена только на двух участках рек в лесостепной зоне (р. Дон, г. Данков и р. Падовая, г. Самара), которые относятся к категории наиболее загрязненных водных объектов в России с очень высокой степенью загрязненности воды (иногда характеризующейся 5-м классом качества – «экстремально грязная»).

В целом можно отметить, что в данных зонах качество воды рек распределяется примерно равномерно: больше всего речных участков имеют переходную степень загрязненности между 3-и и 4-м классами (около 54 %) и примерно одинаковое количество участков рек имеют качество воды 3-го и 4-го класса (по 23 %).

Пространственное распределение количества (в %) речных участков в зонах лесостепей и степей в ЕЧР по степени загрязненности воды рек внутри физико-географических провинций приведено в таблице 49.

В зональной изменчивости прослеживается аналогичная закономерность – возрастает доля участков рек, водная среда которых характеризуется как стабильно «очень загрязненная» или «грязная» по комплексу гидрохимических показателей (таблица 49).

Оценка многолетней (за период с 1985 по 2015 гг.) изменчивости состояния водной среды 73 речных участков, функционирующих в зонах лесостепей и степей ЕЧР, проведена в соответствии с рекомендациями [175, 176] по таким интегральным гидрохимическим показателям, как легкоокисляемые органические вещества (ЛОВ по $БПК_5$) и азот аммонийный. Для оценки изменчивости состояния водной среды речных участков по гидрохимическим показателям были рассчитаны модальные интервалы значений концентраций ЛОВ и азота аммонийного и соотнесены с критериями классификатора состояния согласно рекомендациям (см. таблицу 7). Результаты оценки состояния водной среды участков рек зон лесостепей и степей представлены в таблице Б.3 приложения Б.

Таблица 49 – Распределение по провинциям речных участков (в %) в зонах лесостепей и степей ЕЧР по степени загрязненности воды

Провинции	Степень загрязненности воды			
	загрязненная и очень загрязненная	загрязненная и грязная	стабильно грязная	грязная и очень грязная
Среднерусская	**46,2**	38,4	15,4	–
Окско-Донская	**70,0**	30,0	–	–
Приволжская	11,1	33,3	**44,5**	11,1
Кинельско-Камская и Бугульминско-Белебеевская	–	12,5	**75,0**	12,5
Все степные провинции*	23,1	**53,8**	23,1	–

Все исследуемые речные участки зоны лесостепной и степной зон ЕЧР сгруппированы по различным категориям состояния их водной среды по ФГП от наиболее благополучных, находящихся в «естественном» и/или «равновесном» состоянии до участков рек, состояние которых оценивается как «напряженное» и/или переходное из «равновесного» или «напряженного» в «критическое». Распределение речных участков внутри провинций по категориям состояния водной среды по содержанию органических веществ приведено в таблице 50, по содержанию азота аммонийного – в таблице 51.

Состояние по содержанию в водной среде ЛОВ (по $БПК_5$)

В зонах лесостепей и степей ЕЧР не выявлено участков рек, водная среда которых по гидрохимическим показателям находилась бы в «естественном» состоянии по содержанию ЛОВ, а в «равновесном» состоянии функционирует всего 10 речных участков из общего количества объектов исследования в данной природной зоне, что составило 13,7 %. Наибольше количество участков рек находятся переходном состоянии из «равновесного» в «напряженное» – 31, что составило более трети участков рек (42,5 %) и «напряженном» – 20 участков рек (27,4 %). Достаточна значимую часть – 16,4 % составили участки рек, состояние водной среды которых характеризуется как переходное из «равновесного» в «критическое», и это в основном участки степных рек (таблица 50).

Графически распределение речных участков в зонах лесостепей и степей ЕЧР по категориям состояния по содержанию ЛОВ внутри физико-географических провинций приведено на рисунке 16. В целом можно отметить, что состояние большинства речных участков по содержанию в водной среде ЛОВ оценивается как «напряженное» или переходное из «равновесного» в «напряженное» состояние, а при движении на юг возрастает доля участков рек, состояние водной среды которых по гидрохимическим показателям оценивается как переходное из одной категории в другую.

Таблица 50 – Распределение внутри провинций речных участков (в %) в зонах лесостепей и степей ЕЧР по состоянию по содержанию легкоокисляемых органических веществ

Провинции	Состояние водной среды			
	равновесное	из равновесного в напряженное	напряженное	из равновесного в критическое
Среднерусская	16,7	**66,7**	16,7	–
Окско-Донская	28,6	**64,3**	7,1	–
Приволжская	11,1	11,1	**55,6**	**22,2**
Кинельско-Камская и Бугульминско-Белебеевская	–	25,0	12,5	**62,5**
Все степные провинции	8,3	**29,2**	**41,7**	20,8
Всего	13,7	**42,5**	**27,5**	16,3

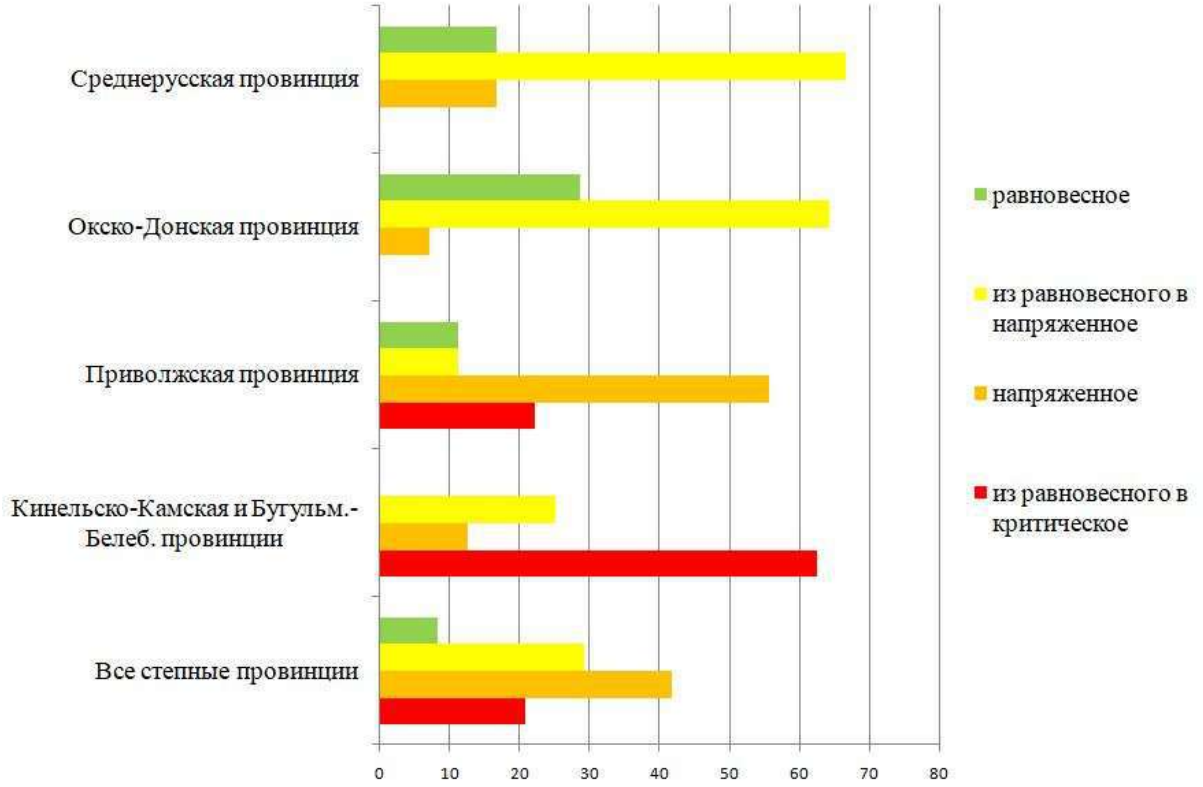


Рисунок 16 – Распределение речных участков (в %) в зонах лесостепей и степей ЕЧР по разным категориям состояния по содержанию ЛОВ

Состояние по содержанию в водной среде азота аммонийного

В «естественном» состоянии по содержанию азота аммонийного в водной среде функционирует в лесостепной и степной зонах ЕЧР только один речной участок из общего количества объектов исследования в данной природной зоне – это р. Проня, пгт Серебрянь. Количество речных участков, состояние которых характеризуется как «равновесное», преобладающее большинство – 54, что составляет 74 %, а в переходном из «равновесного» в «напряженное» – 16 участков рек (21,9 %) (таблица 51). Таким образом, практически все участки по содержанию в речных водах азота аммонийного находятся в «равновесном» состоянии или переходном в «напряженное». В экологически неблагополучном состоянии, то есть переходном в «критическое», находящихся всего два участка рек – это р. Падовая, г. Самара и р. Чапаевка, г. Чапаевск (см. таблицу Б.3 приложения Б). Это, как известно, две наиболее загрязненные и экологически неблагополучные реки Самарской области, испытывающие высокую антропогенную нагрузку на водосборах.

Таблица 51 – Распределение по провинциям речных участков (в %) в зонах лесостепей и степей ЕЧР по состоянию по содержанию азота аммонийного

Провинции	Состояние водной среды			
	естествен-ное	равновес-ное	из равновесного в напряженное	из равновесного в критическое
Среднерусская	5,6	**61,1**	**33,3**	–
Окско-Донская	–	**78,6**	**21,4**	–
Приволжская	–	**55,6**	**44,4**	–
Кинельско-Камская и Бугульминско-Белебеевская	–	**87,5**	–	12,5
Все степные провинции	–	**83,3**	12,5	4,2
Всего	1,4	**74,0**	**21,9**	2,7

Река Чапаевка находится под мощным воздействием сточных вод с сельскохозяйственных угодий и животноводческих ферм, населенных пунктов (во многих из которых нет организованного сброса сточных вод), а также в нижнем течении реки (ниже г. Чапаевск) – условно очищенных стоков промышленных предприятий крупных химических и нефтехимических производств. По данным Зинченко Т.Д. и др. участок реки выше г. Чапаевска по уровню антропогенной нагрузки, концентрации биогенных и органических веществ соответствует водному объекту эвтрофного типа. Локально были установлены участки экологического бедствия с высоким уровнем химического загрязнения и зона экологического кризиса. Так, в донных отложениях, на участке реки ниже г. Чапаевска содержание соединений кадмия, хрома, нефтепродуктов и хлорорганических веществ превышало фоновые значения и нормативы в десятки, сотни и тысячи раз [82].

Практически ежегодно реки Чапаевка и Падовая входят в число водотоков с наибольшим числом случаев высокого и экстремально высокого уровня загрязнения воды на территории России. Основной опасностью такого длительного антропогенного воздействия является возникновение чрезвычайных экологических ситуаций за счет аномально высоких концентраций загрязняющих веществ, снижения способности к самоочищению, трансформации химического состава воды и ухудшения ее качества [145].

Графически распределение речных участков в зонах лесостепей и степей ЕЧР по категориям состояния по содержанию азота аммонийного внутри физико-географических провинций приведено на рисунке 17.

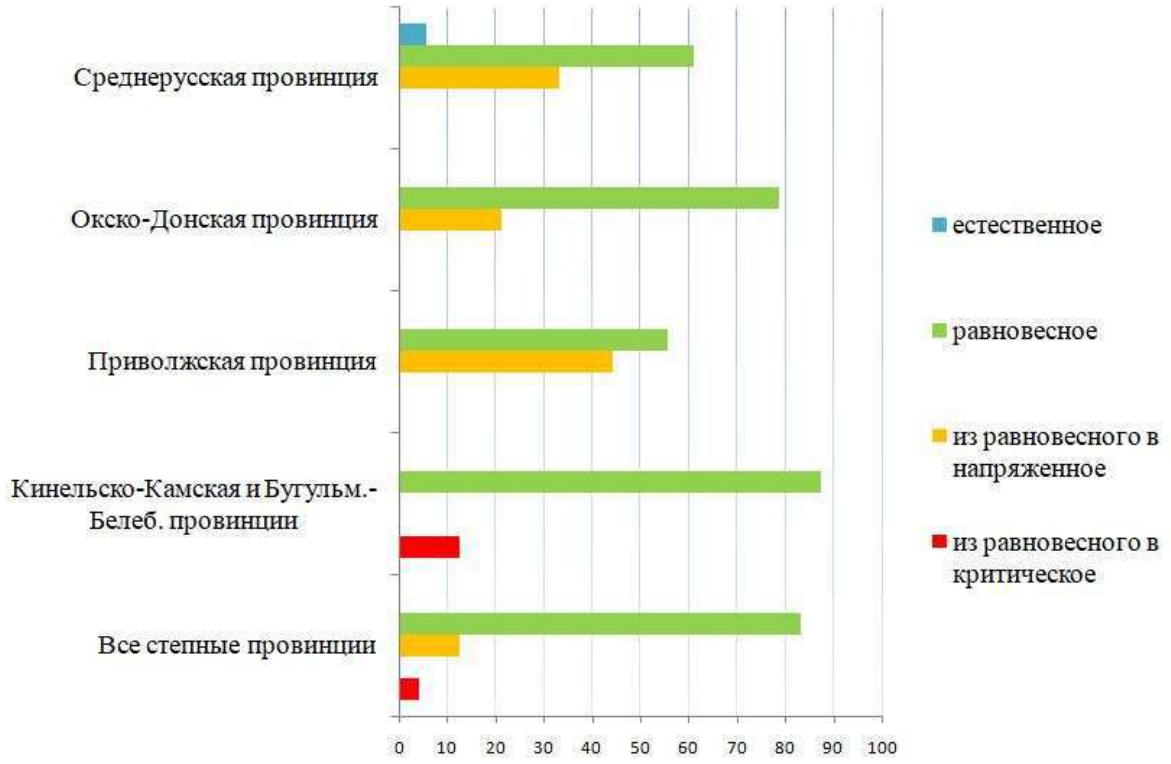


Рисунок 17 – Распределение речных участков в зонах лесостепей и степей ЕЧР по категориям состояния по содержанию азота аммонийного

В целом можно отметить, что состояние водной среды большинства речных участков по содержанию азота аммонийного во всех провинциях зон лесостепей и степей ЕЧР оценивается как «равновесное» и переходное из «равновесного» в «напряженное» (95 %), а при движении в южном направлении возрастает доля участков рек, состояние водной среды которых характеризуется как переходное в «напряженное».

ГЛАВА 7 ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И КАЧЕСТВА РЕЧНЫХ ВОД ЕЧР

7.1 Закономерности изменчивости химического состава и качества речных вод различных природных зон ЕЧР

Гидрохимическая зональность в пределах ЕЧР проявляется в изменчивости химического состава речных вод, происходит закономерное увеличение минерализации воды и концентраций макрокомпонентов в воде рек с севера на юг [45, 192, 202, 212, 217, 222]. В современных условиях антропогенного воздействия на природные геосистемы происходит повышение фоновых характеристик различных водных систем, усиливаются внутри- и межгодовые колебания концентраций в водной среде химических соединений, изменяются закономерности процессов формирования химического состава поверхностных вод. Такая неоднородность в формировании природных особенностей качества речных вод на ЕЧР, антропогенной нагрузки и т.д. проявляется в изменчивости концентраций химических веществ [192, 212, 214, 217].

Методические подходы к выявлению региональных особенностей химического состава воды

Для оценки пространственной изменчивости концентраций химических веществ были проведены статистическая обработка и анализ данных гидрохимических наблюдений. Ряды таких данных обладают специфическими свойствами, накладывающими ограничение на применение ряда стандартных статистических процедур (расчет среднего арифметического, размаха, дисперсии и др.), традиционно используемых при работе с данными натурных наблюдений. К числу таких специфических свойств относятся [240]:

- временная неэквидистантность данных – в течение одного года могут наблюдаться не только разные сроки отбора и анализа проб, но и разное количество отборов;

- неоднородность результатов измерений, являющаяся следствием их зависимости от условий их формирования (например, от расхода воды в период отбора проб, метеорологических условий и др.);

- наличие «выбросов» - экстремально больших или экстремально малых значений показателя, непредставительных для данной выборки значений, но возможных в силу влияния ряда природных и антропогенных факторов (например, аварийных сбросов загрязненных вод);

- выявляемая в большинстве анализируемых выборок левосторонняя асимметрия, являющаяся следствием наличия «выбросов»;

- несоответствие нормальному закону распределения как итог перечисленных выше свойств. Многолетние выборки гидрохимических данных, как правило, представляют собой семейство распределений, дающих сложную картину результирующей кривой распределения.

Таким образом, особенности анализируемых гидрохимических данных допускает использование только робастной статистики для выявления различий между характерными содержаниями концентраций исследуемых химических веществ. В частности вместо среднего арифметического ожидания и дисперсии были использованы их робастные аналоги – медиана и интерквартильный размах ($P_{25\%}$-$P_{75\%}$) [178] соответственно, рассчитанные за 30-летний период (с 1985 по 2015 гг.).

Для визуализации отличий в содержаниях средних (медианных) концентраций того или иного химического вещества результаты расчетов были нанесены на карты-схемы изменчивости содержания отдельных химических веществ. С этой целью проведена оценка размаха медианных концентраций, наблюдаемого на участках рек на всей ЕЧР. Используя в качестве шага группировки данных стандартное отклонение выборок медианных концентраций, полученный размах был разделен не более, чем на 5 интервалов, каждому из которых был присвоен определенный оттенок цвета (провинции с меньшими концентрациями закрашены в более светлые оттенки). Данные 5 интервалов соответствуют определенному уровню содержания вещества: «минимальный», «низкий», «повышенный», «средний» и «высокий». Физико-географическая провинция имеет однородное закрашивание, если не менее 50 % расположенных в ней участков рек, соответствуют одному из интервалов концентраций [178].

Статистический анализ гидрохимических данных для оценки медианных концентраций химических веществ и построения картосхем выполнен совместно с коллегами лаборатории дистанционных и химико-биологических методов наблюдений за состоянием и загрязнением водных объектов ГХИ к.х.н. Л.С. Косменко, к.б.н. А.О. Даниленко и к.б.н. М.Ю. Кондаковой, картосхемы (рисунки 18-31) построены А.О. Даниленко. Дальнейший анализ и интерпретация данных проведена соискателем самостоятельно для реализации задач данного исследования. Отдельные совместные результаты исследования с коллегами опубликованы в различных изданиях [50, 97, 178, 212, 217].

7.1.1 Пространственная изменчивость химического состава речных вод европейской части России

Пространственная изменчивость химического состава речных вод ЕЧР за многолетний период представлена по группам веществ: главные ионы (ионы магний, кальция, хлориды, сульфаты и гидрокарбонаты), биогенные и органические вещества и соединения тяжелых металлов. Содержание растворенного в воде кислорода по медианным значениям концентраций оказалось однородным для исследуемых природных зон ЕЧР и эти данные ниже не приведены.

Изменчивость содержания главных ионов

Магний. Для Европейской части России характерны медианные значения концентрации магния от 1,6 (р. Сергевань, устье и р. Лендерка, п. Лендеры) до 58,7 мг/дм^3 (р. Быстрая, х. Апанаскин), а общая тенденция с севера на юг – возрастание [97]. Шаг группировки данных, рассчитанный при 95 % доверительном интервале медианных концентраций, составил 9 мг/дм^3.

Минимальным содержанием магния в воде характеризуются все водные объекты северных провинций - Северо-, Западно- и Восточно-Кольской (за исключением р. Можель, г. Ковдор), Малоземельско-Большеземельской, Карельской и Печорской, а также Днепровско-Деснинской провинций. Большинство исследованных водных объектов Онежско-Двинской, Пинего-Мезенской, Мезенско-Двинской, Тиманской, Ветлужско-Унжинской провинций также имеют медианные концентрации ниже 10 мг/дм^3 (рисунок 18). Низкими содержаниями магния (от 10 до 19 мг/дм^3) характеризуются водные объекты Вятско-Камской, Верхне-Волжской, Смоленско-Московской, Мещерской, Приокской, Среднерусской и Черноземельской провинций. Средние концентрации магния (от 20 до 28 мг/дм^3) в речных водах характерны для водных объектов Окско-Донской провинции, Общего Сырта, Самаро-Иргизской, Хопер-Медведицкой и Донецко-Донской провинций [178].

Повышенные концентрации концентраций магния – от 29 до 37 мг/дм^3 – в Нижнедонской провинции, а водные объекты Северо-Приволжской, Кинельско-Камской и Бугульминско-Белебеевской провинций имеют наивысшие медианные концентрации магния на Европейской части России. В южном направлении возрастает удельное число атипичных по уровню магния водных объектов (рисунок 18). Если на Крайнем Севере

аномально высокими концентрациями характеризуется только р. Можель, г. Ковдор, то, начиная с Северо-Приволжской провинции такие водные объекты начинают встречаться регулярно. Это Сундовик (д. Семово), Пьяна (с. Камкино), Кудьма (г. Кстово), Северский Донец (р.п. Усть-Донецкий), Быстрая (х. Апанаскин), Чапаевка (г. Чапаевск). Водные объекты Кинельско-Камской, Бугульминско-Белебеевской и Северо-Приволжской провинций в целом нарушают закономерность возрастания медианных концентраций магния с севера на юг, формируя область высоких концентраций [178].

Кальций. Для рек ЕЧР характерны медианные концентрации кальция от 1,4 (р. Сергевань, устье и р. Лендерка, п. Лендеры) до 240,7 мг/дм^3 (р. Кулой, д. Кулой). Как и для магния, общая тенденция изменения содержания кальция с севера на юг – возрастание [97]. Шаг группировки данных, рассчитанный при 95 % обеспеченности выборки медианных концентраций, составил 30 мг/дм^3.

Минимальными концентрациями ионов кальция (до 30 мг/дм^3) в водах характеризуется большинство водных объектов северных провинций - Северо-, Западно- и Восточнокольской, Малоземельско-Большеземельской, Карельской и Мезенско-Двинской, Тиманской и Печорской провинций (рисунок 19).

Водные объекты Онежско-Двинской, Ветлужско-Унжинской, Вятско-Камской, Прибалтийской, В ерхне-Волжской, Смоленско-Московской, Мещерской, Приволжской, а также Черноземельской, Северо-Кавказской и Западно-Предкавказских провинций в большинстве случаев имеют медианные концентрации ниже – от 30 до 61 мг/дм^3. Колебания медианных уровней кальция от 62 до 91 мг/дм^3 характерны для водных объектов Приокской, Среднерусской, Окско-Донской, Самаро-Иргизской, Хопер-Медведицкой провинций и Общего Сырта, а также Нижнедонской провинции.

В Донецко-Донской провинции медианный уровень кальция в водах рек колеблется от 91 до 121 мг/дм^3. Кинельско-Камская провинция занимает промежуточное положение между физико-географическими территориями с повышенными и высокими концентрациями кальция [178].

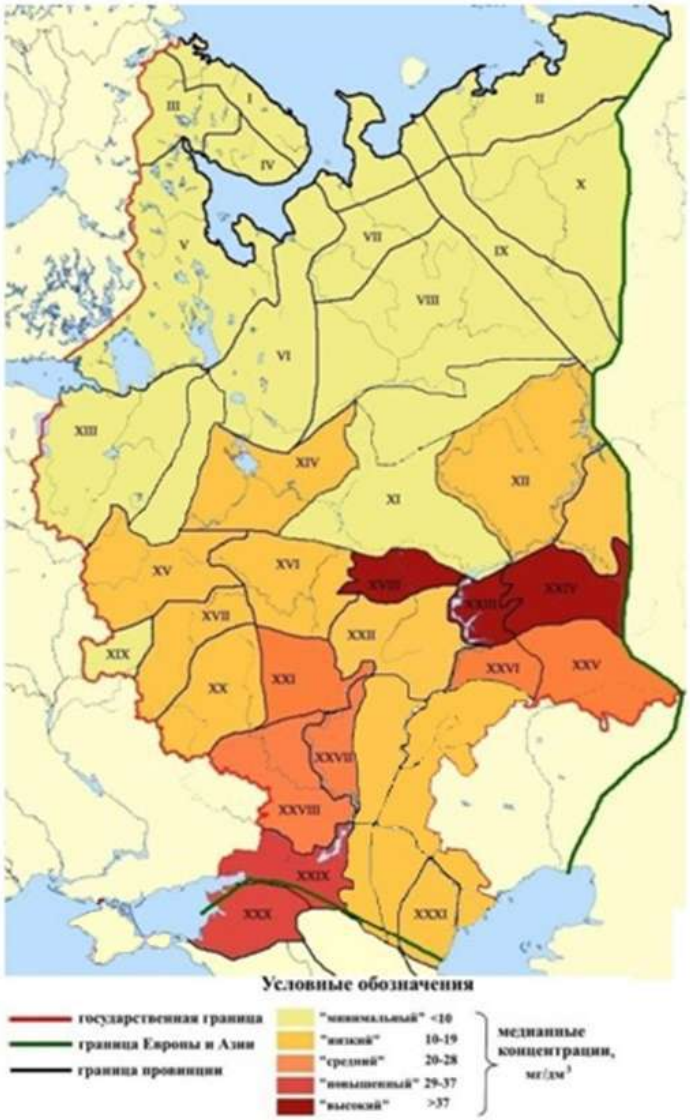


Рисунок 18 – Изменчивость содержания магния в речных водах ЕЧР [178]

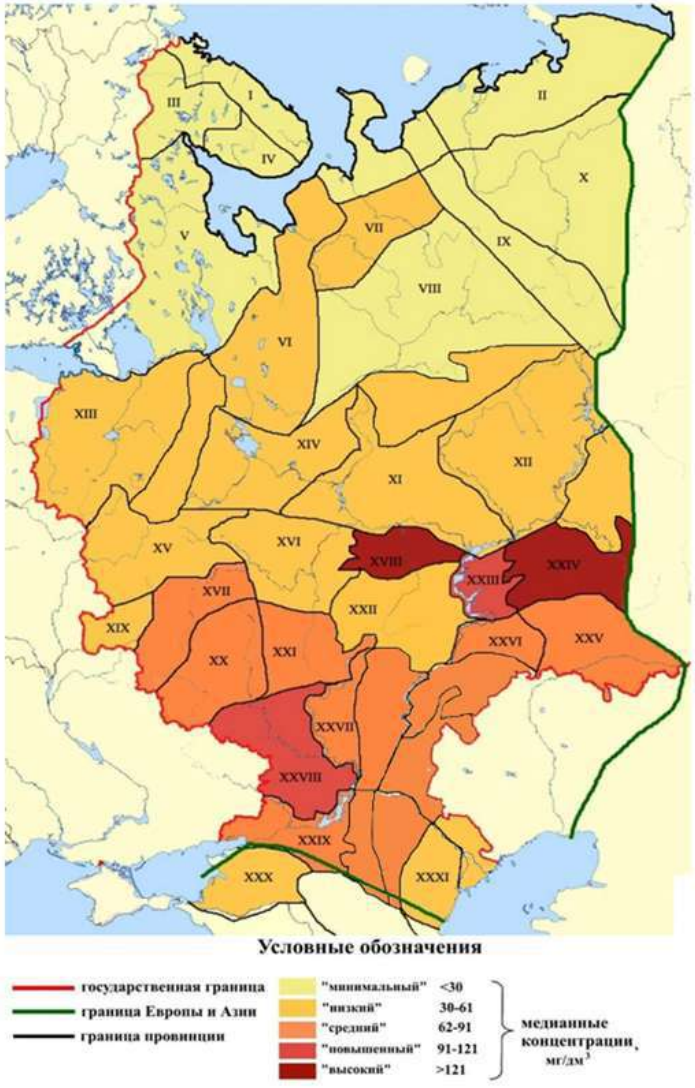


Рисунок 19 – Изменчивость содержания кальция в речных водах ЕЧР [178]

К последним относятся примыкающая к ней Бугульминско-Белебеевская провинция и Северо-Приволжская

Среди водных объектов с аномально высокими (в сравнении с остальными водными объектами провинции) концентрациями кальция следует назвать р. Емца (с. Сельцо) в Онежско-Двинской провинции и р. Кулой (д. Кулой) в Пинего-Мезенской. Выше типичных и медианные концентрации кальция в р. Верда (г. Скопин) Среднерусской провинции [178].

Хлориды. Для рек ЕЧР характерны медианные концентрации хлоридов от минимального предела их обнаружения (р. Лендерка, п. Лендеры) до 282,0 мг/дм^3 (р. Степной Зай, г. Альметьевск). Общая тенденция изменения содержания хлоридов с севера на юг – возрастание. Шаг группировки данных, рассчитанный при 95 % обеспеченности выборки медианных концентраций, составил 30 мг/дм.

Минимальным уровнем хлоридов (до 30 мг/дм^3) в водах характеризуются водные объекты большинства провинций Русской равнины: от Северо-Кольской и Малоземельско-Большеземельской на севере до Приволжской в центральной части России, а также южные провинции – Северо-Кавказская, Западно-Предкавказская и Черноземельская (рисунок 20) [178].

Низкие значения медианных концентраций хлоридов (от 30 до 60 мг/дм^3) имеют водные объекты Донецко-Донской и Хопер-Медведицкой провинций. Средние концентрации (60 до 90 мг/дм^3) в речных водах характерны для водных объектов Кинельско-Камской и Бугульминско-Белебеевской провинций. Участки рек, расположенные в Самаро-Иргизской и Нижнедонской провинциях, имеют наивысшие медианные концентрации хлоридов (свыше 120 мг/дм^3) на ЕЧР.

Аномально высокие многолетние медианы концентраций хлоридов (более 200 мг/дм^3) отмечаются в южных реках: Северский Донец (р.п. Усть-Донецкий) Нижнедонской провинции, Быстрая (х. Апанаскин) в Донецко-Донской провинции, Чапаевка (г. Чапаевск) в Самаро-Иргизской провинции и р. Степной Зай (г. Альметьевск) в Бугульминско-Белебеевской провинции (рисунок 20).

Сульфаты. Для изученных участков рек ЕЧР характерны медианные концентрации сульфатов от 2,5 (р. Поной, с. Краснощелье) до 567,1 мг/дм^3 (р. Кулой, д. Кулой). Общая тенденция изменения содержания сульфатов с севера на юг –

возрастание. Шаг группировки данных, рассчитанный при 95 % обеспеченности выборки медианных концентраций, составил 55 мг/дм^3 [178].

В целом, изменчивость содержания сульфатов в природных водах аналогична таковой для хлоридов. Минимальными концентрациями (до 55 мг/дм^3) характеризуются водные объекты большинства провинций Русской равнины: от Северо-Кольской и Малоземельско-Большеземельской на севере до Приволжской в центральной части России (рисунок 21).

В отличие от изменчивости хлоридов, изменчивость сульфатов характеризуется более высокими их содержаниями в Среднерусской и Черноземельской провинциях (от 55 до 110 мг/дм^3). Такие же низкие концентрации медианных концентраций имеют водные объекты Общего Сырта и Самаро-Иргизской, Хопер-Медведицкой и Донецко-Донской провинций [178].

Средние концентрации сульфатов (от 110 до 165 мг/дм^3) в речных водах характерны для водных объектов Кинельско-Камской и Нижнедонской провинций.

Повышенные концентрации концентраций сульфатов – от 165 до 220 мг/дм^3 – в р. Кубань на территориях Западно-Предкавказской и Северо-Кавказской провинций и в Бугульминско-Белебеевской провинции, а большая часть водных объектов Северо-Приволжской провинции имеет наивысшие медианные концентрации сульфатов на Европейской части России, формируя аномальное поле гидрохимических концентраций, нарушающее закономерное их возрастание в природных водах с севера на юг (рисунок 21). Аномально высокие многолетние медианы концентраций сульфатов отмечаются в р. Кулой (д. Кулой) Пинего-Мезенской провинции и р. Верда (г. Скопин) Среднерусской провинции.

Гидрокарбонаты. Для рек Европейской части России характерны медианные концентрации гидрокарбонатов от минимального предела их обнаружения (р. Лендерка, г. Лендеры) до 394,7 мг/дм^3 (р. Падовая, г. Самара) (рисунок 22). Общая тенденция изменения содержания гидрокарбонатов с севера на юг – возрастание. Шаг группировки данных, рассчитанный при 95 % обеспеченности выборки медианных концентраций, составил 90 мг/дм^3 [178].

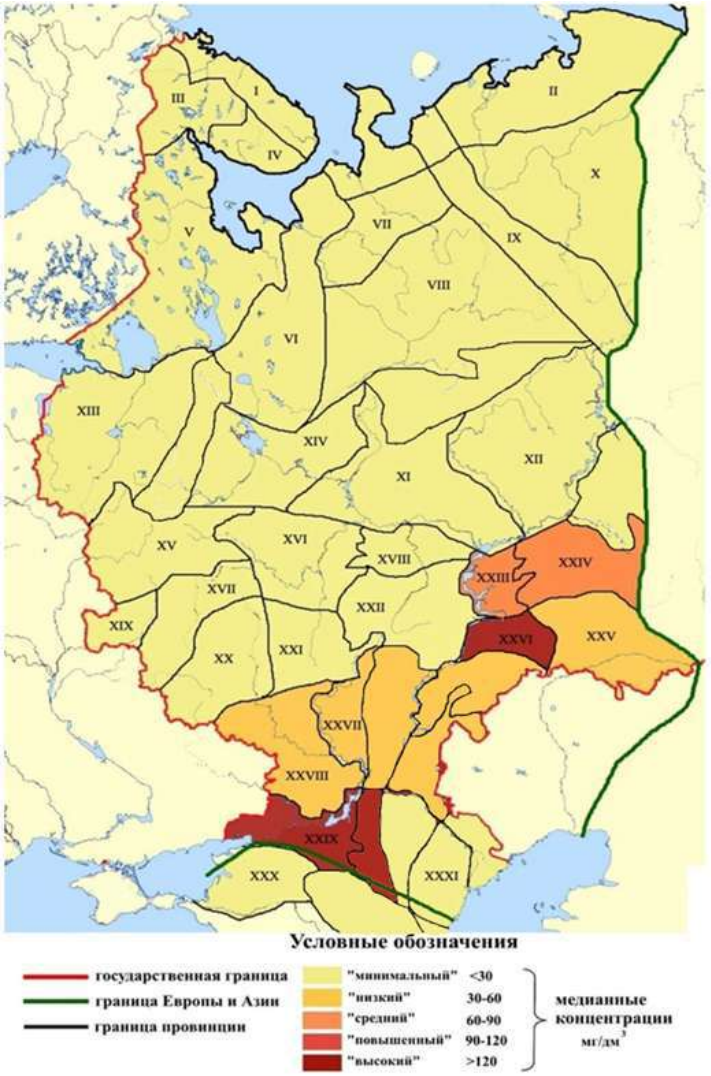


Рисунок 20 – Изменчивость содержания хлоридов в речных водах ЕЧР [178]

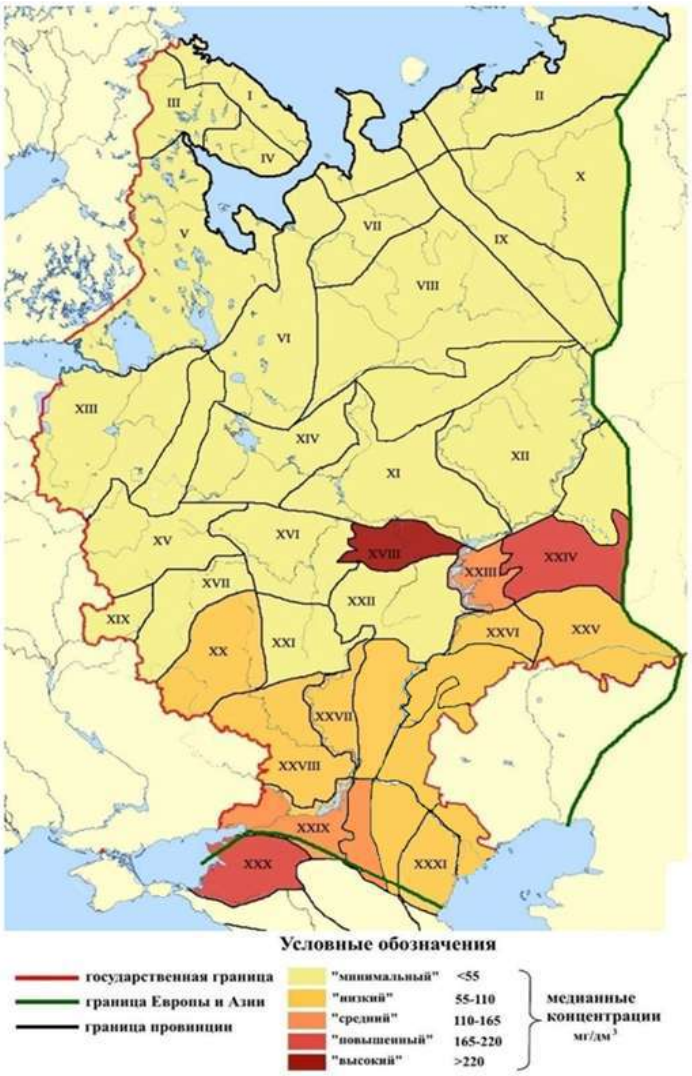


Рисунок 21 – Изменчивость содержания сульфатов в речных водах ЕЧР [178]

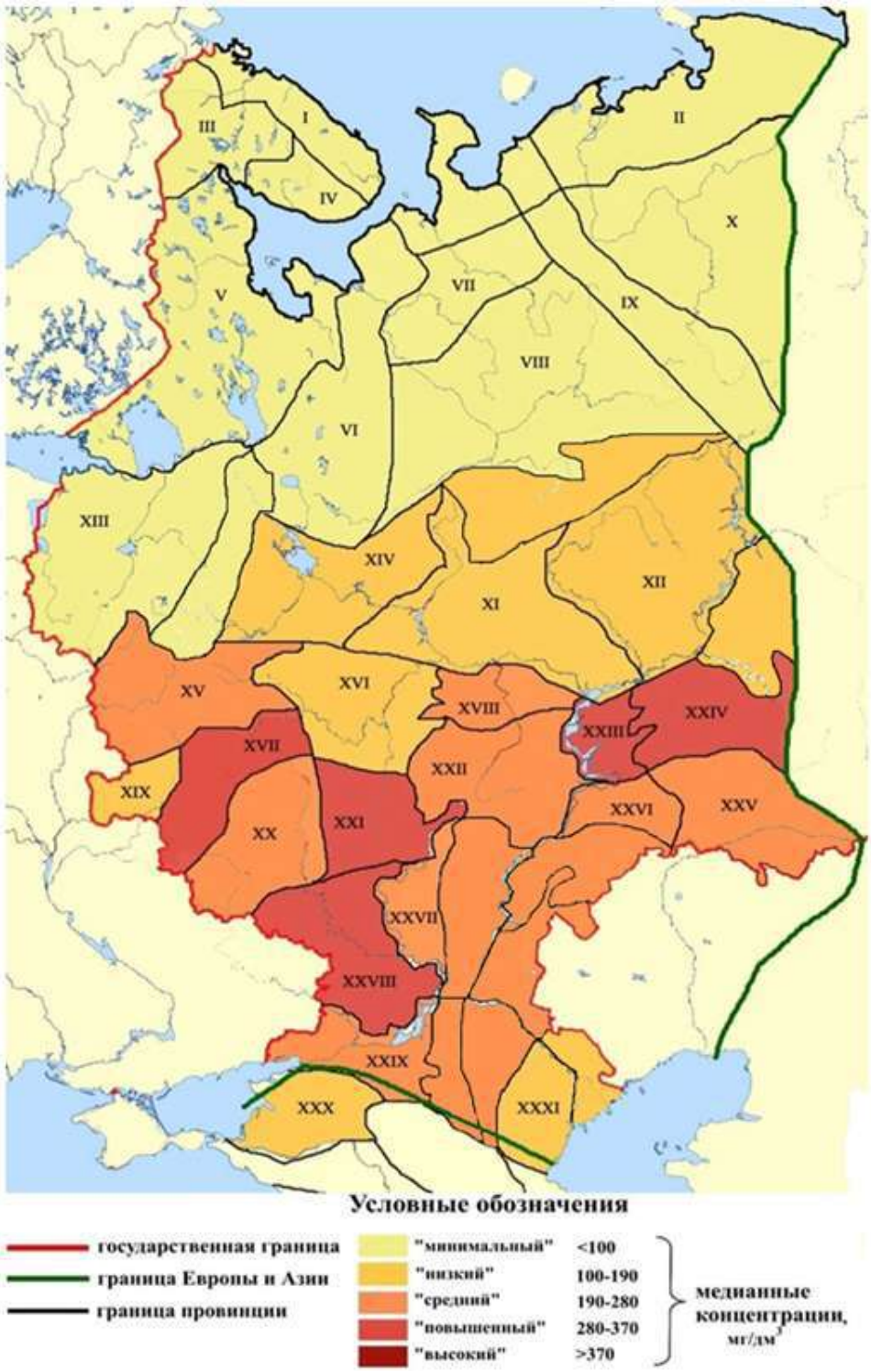


Рисунок 22 – Изменчивость содержания гидрокарбонатов в речных водах ЕЧР [178]

Минимальным содержанием гидрокарбонатов (до 100 мг/дм^3) в водах характеризуются водные объекты северных провинций до южных границ Прибалтийской, Онежско- и Мезенско-Двинской и Печорской провинций (рисунок 22).

Низкие концентрации медианных концентраций гидрокарбонатов (от 100 до 190 мг/дм^3) имеют водные объекты южно-таежных провинций – Вятско-Камская, Верхне-Волжская и Мещерская, а также Днепровско-Деснинской на западе и южные провинции – Северо-Кавказская и Западно-Предкавказская и Черноземельская.

Средние концентрации гидрокарбонатов (от 190 до 280 мг/дм^3) в речных водах характерны для водных объектов средней полосы России и её южных территорий. В этом интервале располагается большинство провинций (рисунок 22). Повышенные концентрации концентраций гидрокарбонатов – от 280 до 370 мг/дм^3 – в Приокской, Окско-Донской, Кинельско-Камской, Бугульминско-Белебеевской и Донецко-Донской провинциях. Медианные концентрации гидрокарбонатов свыше 370 мг/дм^3 не характерны для Европейской части России и свойственны индивидуальным водным объектам: р. Битюг (р.п. Анна) и р. Падовая (г. Самара) [178].

Изменчивость содержания биогенных веществ и растворенного в воде кислорода

Азот аммонийный. Для рек Европейской части России характерны медианные концентрации азота аммонийного от минимальных пределов его обнаружения (реки провинций Крайнего Севера) до 1,5 мг/дм^3 (р. Клязьма, г. Павловкий Посад). Общая тенденция изменения содержания азота аммонийного с севера на юг – возрастание до средней полосы ЕЧР с последующим снижением. Шаг группировки данных, рассчитанный при 95 % обеспеченности выборки медианных концентраций азота аммонийного, составил 0,15 мг/дм^3 [178].

Минимальными медианными концентрациями азота аммонийного (до 0,15 мг/дм^3) в водах характеризуются реки северных провинций до южных границ Прибалтийской, Онежско- и Мезенско-Двинской и Печорской провинций, а также южные провинции от Донецко-Донской до Черноземельской (рисунок 23). В этом интервале лежит содержание иона в воде рек большинства провинций ЕЧР. Низкие значения медианных концентраций азота аммонийного (от 0,15 до 0,30 мг/дм^3) имеют водные объекты Вятско-Камской и Верхне-Волжской провинций к северу, а также Окско-Донской, Среднерусской, Приволжской, Бугульминско-Белебеевской и Самаро-Иргизской провинций к югу от характерной полосы повышения медианных концентраций азота аммонийного до среднего содержания. Средние значения концентраций этой формы азота (от

0,30 до 0,45 мг/дм^3) характерны для речных участков провинций, расположенных в средней полосе России от Днепровско-Деснинской на западе до Общего Сырта на востоке. К этому же интервалу относятся и большинство рек Хопер-Медведицкой провинции [178].

Повышенные значения концентраций азота аммонийного – от 0,45 до 0,60 мг/дм^3 – характерны для отдельных водных объектов, расположенных в Смоленско-Московской, Мещерской и других провинциях, характеризующихся в целом средними медианными содержаниями аммонийного азота в водах их рек (рисунок 23). Аномально высокие многолетние медианы концентраций отмечены для водных объектов Мещерской провинции: рр. Бужа (д. Избище) и Клязьма (г. Павловская Слобода).

Азот нитратный. В речных водах ЕЧР отмечаются медианные концентрации азота нитратного от минимальных пределов его обнаружения (реки провинций Крайнего Севера) до 2,97 мг/дм^3 (р. Дон, г. Задонск). Общая тенденция изменения содержания нитратов в водах исследованных рек с севера на юг – это возрастание до средней полосы России с последующим снижением. Шаг группировки данных, рассчитанный при 95 % обеспеченности выборки медианных концентраций, составил 0,40 мг/дм^3. Минимальным уровнем нитратного азота (до 0,40 мг/дм^3) в водах характеризуются водные объекты большинства включенных в исследование провинций (рисунок 24) [178].

В территориальном распределении повышенных содержаний азота нитратного наблюдается очаговость. В западной части Европейской части России повышенные концентрации (от 0,80 до 1,20 мг/дм^3) характерны для Среднерусской и Приокской провинций, а средние, для провинций, прилегающих к ним. В восточной части ЕЧР очагом повышенных медианных концентраций азота нитратного в речных водах являются провинции Общий сырт и Бугульминско-Белебевская, а граничащая с ней Кинельско-Камская провинция характеризуется средним уровнем медианных концентраций нитратного азота (рисунок 24). Между двумя этими очагами находится еще один – Северо-Приволжская провинция. На юге высокий уровень содержания этой формы азота характерен для реки Кубань. Аномально высокие многолетние медианы концентраций азота нитратного обнаруживаются в нескольких пунктах р. Дон в пределах Среднерусской провинции – гг. Данков, Лебедянь и Задонск [178].

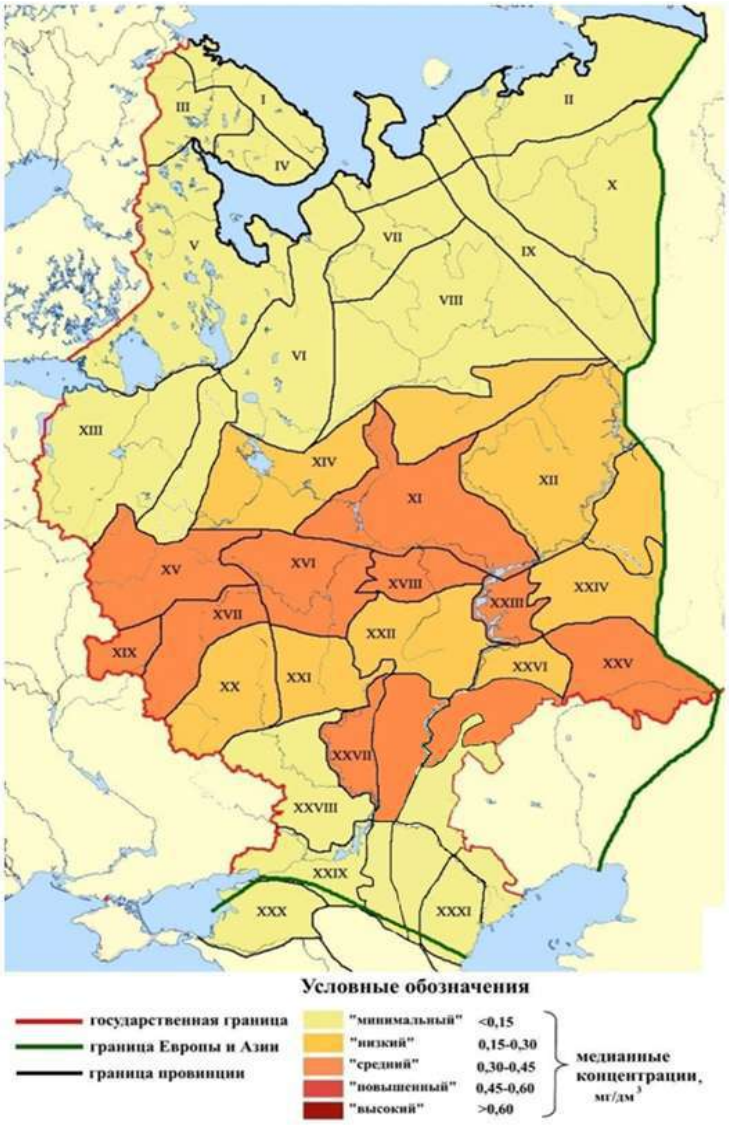


Рисунок 23 – Изменчивость содержания азота аммонийного в речных водах ЕЧР [178]

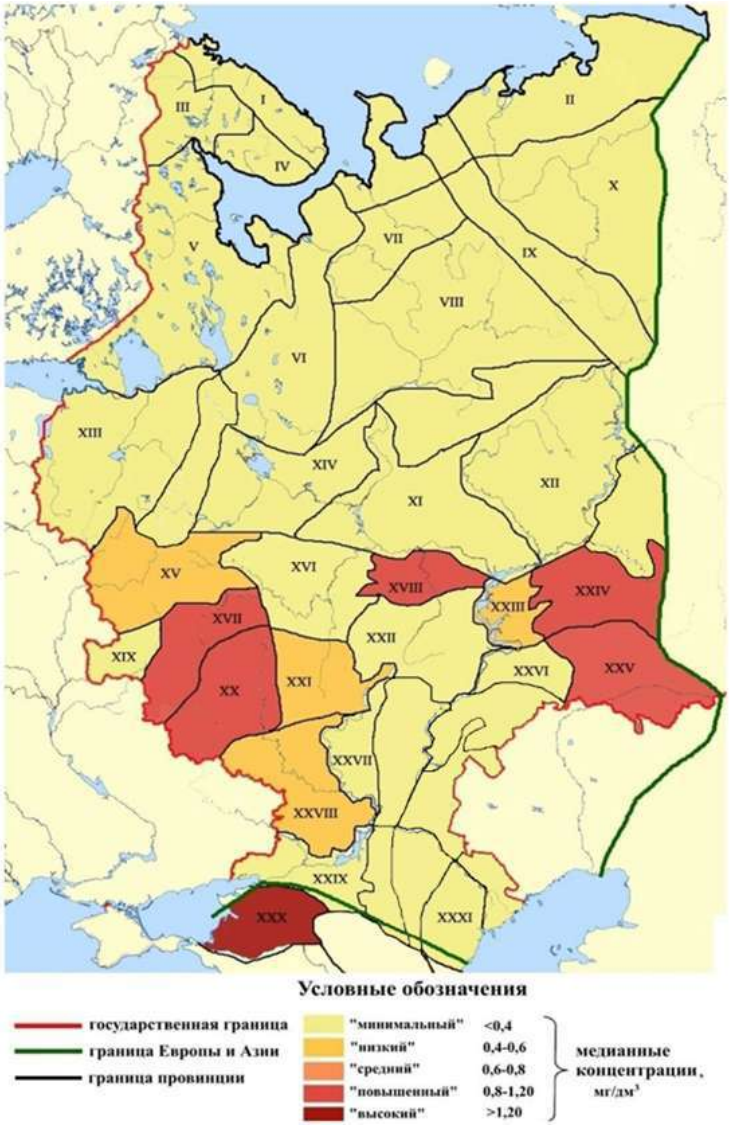


Рисунок 24 – Изменчивость содержания азота нитратного в речных водах ЕЧР [178]

Изменчивость содержания органических веществ

Легкоокисляемое органическое вещество (ОВ) по показателю биохимического потребления кислорода ($БПК_5$). Для рек Европейской части России характерны медианные концентрации ЛОВ (по $БПК_5$) от минимальных пределов его обнаружения (реки провинций Крайнего Севера) до 5,1 мг/дм^3 (р. Теша, д. Натальино). Общая тенденция изменения с севера на юг – возрастание. Шаг группировки данных, рассчитанный при 95 % обеспеченности выборки медианных концентраций, составил 0,7 мг/дм^3. Минимальным уровнем ЛОВ по $БПК_5$ (от 0,55 до 1,20 мг/дм^3) характеризуются водные объекты Северо-, Восточно- и Западно-Кольских провинций, а также Вятско-Камской провинции (рисунок 25).

Низкие концентрации медианных концентраций ЛОВ по $БПК_5$ (от 1,20 до 1,90 мг/дм^3) имеют реки таежных провинций, за исключением тундровой Мало-земельско-Большеземельской и Тиманской провинций, в которых обнаруживаются средние концентрации от 1,90 до 2,8 мг/дм^3. Такое же содержание ЛОВ имеют водные объекты средней полосы России, находящиеся в Смоленско-Московской, Приокской, Днепровско-Деснинской, Среднерусской, Приволжской провинциях, провинции Общий Сырт и на юге р. Кубань (кавказские провинции).

Южные провинции преимущественно характеризуются повышенным содержанием ЛОВ по $БПК_5$ (от 2,8 до 3,5 мг/дм^3), а наивысшими (более 3,5 мг/дм^3) – провинции восточной части центральной полосы ЕЧР – Кинельско-Камская, Бугульминско-Белебеевская и Самаро-Иргизская (рисунок 25). Аномально высокие многолетние медианные концентрации ЛОВ отмечаются в водных объектах, расположенных в Мещерской провинции – это р. Клязьма (г. Павловская Слобода) и р. Теша (д. Натальино) [178].

Общее количество органического вещества по показателю химического потребления кислорода (ХПК). Для рек Европейской части России характерны медианные концентрации общего количества ОВ по ХПК от 5,3 (р. Колос-йоки, пгт Никель) до 75,0 мг/дм^3 (р. Большая Вишера, пгт. Большая Вишера). Общая тенденция изменения содержания общего количества ОВ с севера на юг не выражена (рисунок 26). Шаг группировки данных, рассчитанный при 95 % обеспеченности выборки медианных концентраций, составил 6,6 мг/дм^3.

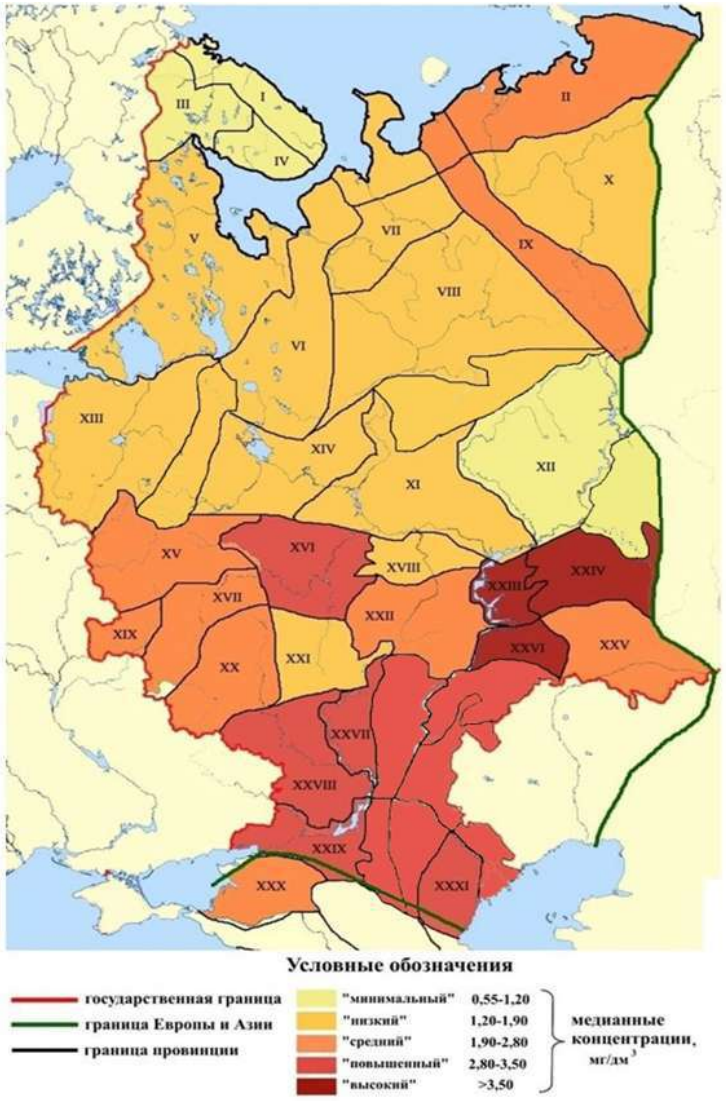


Рисунок 25 – Изменчивость содержания ЛОВ в речных водах ЕЧР по показателю $БПК_5$ [178]

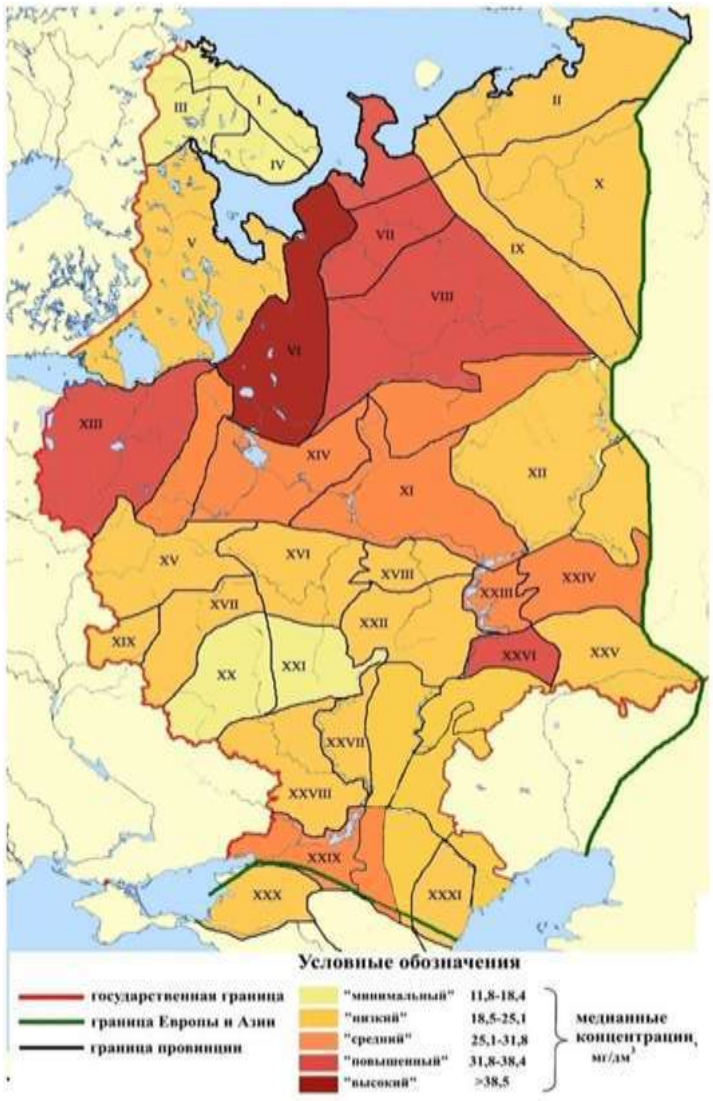


Рисунок 26 – Изменчивость содержания ОВ в речных водах ЕЧР по показателю ХПК [178]

Минимальным содержанием общего количества ОВ по ХПК (от 11,8 до 18,4 мг/дм^3) характеризуются участки рек Северо-, Западно- и Восточно-Кольских провинций, а также Вятско-Камской, Среднерусской и Окско-Донской провинций. Низкие концентрации медианных концентраций общего количества ОВ (от 18,5 до 25,1 мг/дм^3) характерны для подавляющего большинства оставшихся провинций и обнаруживаются и в любой части ЕЧР независимо от широты (рисунок 26) [178].

Средние концентрации общего количества ОВ по ХПК (от 25,1 до 31,8 мг/дм^3) в водах характерны для рек ряда северных провинций – Ветлужско-Унжинской и Верхне-Волжской, для провинций восточной части центра ЕЧР – Кинельско-Камской и Бугульминско-Белебеевской, на юге – для Нижнедонской провинции. Территории повышенного содержания общего количества ОВ (от 31,8 до 38,4 мг/дм^3) в водной среде рек сосредоточены в виде полосы, простирающейся от крайних западных границ Прибалтийской провинции до восточных границ Пинего-Мезенской и Мезенско-Двинской провинций. В центре этой полосы расположена область высокого содержания органических веществ (по ХПК) (более 38,5 мг/дм^3) – Онежско-Двинская провинция (рисунок 26). Аномально высокие многолетние медианы концентраций органического вещества отмечаются в водных объектах, расположенных в Прибалтийской провинции – это р. Кересть (г. Чудово) и р. Большая Вишера (пгт Большая Вишера) [178].

Нефтепродукты. Для рек ЕЧР характерны медианные концентрации нефтепродуктов от минимальных пределов их обнаружения (реки Кольского Севера) до 0,16 мг/дм^3 (р. Вятка, с. Красноглинье). Общая тенденция изменения содержания нефтепродуктов с севера на юг не выявлена (рисунок 27). Интервалы медианных концентраций формируют широтные полосы, сменяющие друг друга в широтном направлении. Шаг группировки данных, рассчитанный при 95 % обеспеченности выборки медианных концентраций, составил 0,027 мг/дм^3.

Минимальным уровнем нефтепродуктов (до 0,027 мг/дм^3) в водах характеризуются водные объекты северных провинций. Южный предел наименьших медианных концентраций проходит по границам Карельской, Онежско-Двинской, Пинего-Мезенской, Тиманской и Печорской провинций. Исключение составляют Малоземельско-Большеземельская провинция, в которой отмечены низкие медианные концентрации нефтепродуктов (от 0,027 до 0,054 мг/дм^3),а также Северо-Приволжская и Кинельско-

Камская провинции, в водных объектах которых медианные концентрации исследуемого вещества не превышают минимальных для ЕЧР (рисунок 27).

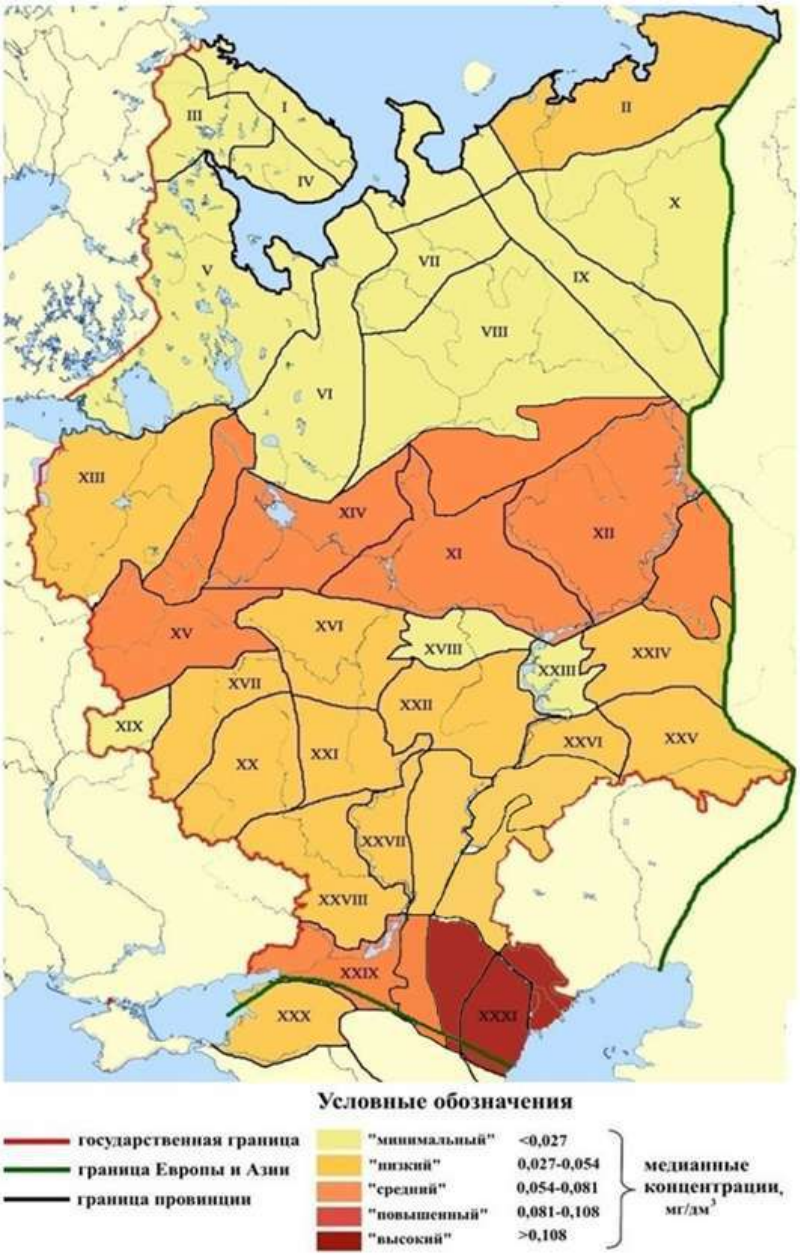


Рисунок 27 – Изменчивость содержания нефтепродуктов в речных водах ЕЧР [178]

В центре Русской равнины обнаруживается полоса средних концентраций нефтепродуктов в водах рек (от 0,054 до 0,081 мг/дм^3), которая в южном направлении сменяется обширными территориями провинций, характеризующихся низкими содержаниями. Эта полоса сформирована Верхне-Волжской, Смоленско-Московской, Ветлужско-

Унжинской и Вятско-Камской провинциями [178]. На юге Европейской части России уровень нефтепродуктов в водной среде рек вновь повышается до средних (Нижнедонская провинция) и высоких (свыше 0,108 мг/дм^3) (рисунок 27).

Изменчивость содержания соединений металлов в речных водах

Растворенные формы соединений железа. Для речных участков Европейской части России характерны медианные концентрации соединений железа от 0,01 (р. Сок, с. Красный Яр, р. Большой Кинель, пгт. Тимашево и др.) до 1,87 мг/дм^3 (р. Пра, п. Брыкин Бор). Общая тенденция изменения содержания соединений железа с севера на юг – снижение [97]. Шаг группировки данных, рассчитанный при 95 % обеспеченности выборки медианных концентраций, составил 0,17 мг/дм^3.Минимальным уровнем соединений железа (до 0,19 мг/дм^3) в речных водах характеризуются водные объекты провинций, занимающих Кольский полуостров – Северо-, Западно- и Восточно-Кольской (рисунок 28), а также значительные пространства южной и центральной части Европейской части России. К северу от этой области лежат территории, характеризующиеся низким уровнем соединений железа (от 0,19 до 0,36 мг/дм^3), ограниченные переделами Ветлужско-Унжинской, Вятско-Камской, Верхне-Волжской, Прибалтийской и Карельской провинций [178].

Европейский Север характеризуется средними содержаниями соединений железа (от 0,36 до 0,53 мг/дм^3), а повышенные (от 0,53 до 0,70 мг/дм^3) и высокие (более 0,70 мг/дм^3) медианные концентрации свойственны единичным водным объектам: в частности медианы концентраций соединений железа в р. Пра (п. Брыкин Бор и с. Борисово) Мещерской провинции лежат в пределах 1,84-1,87 мг/дм^3 (рисунок 28) [97].

Растворенные формы соединений меди. Для речных участков ЕЧР характерны медианные концентрации соединений меди от минимальных пределов их обнаружения до 9 мкг/дм^3 (р. Кубань, ст-ца Ладожская) (рисунок 29). Общая тенденция изменения медианных концентраций с севера на юг не выявлена [97]. Шаг группировки данных, рассчитанный при 95 % обеспеченности выборки медианных концентраций, составил 1,2 мкг/дм^3.



Рисунок 28 – Изменчивость содержания соединений железа в речных водах ЕЧР [97, 178]

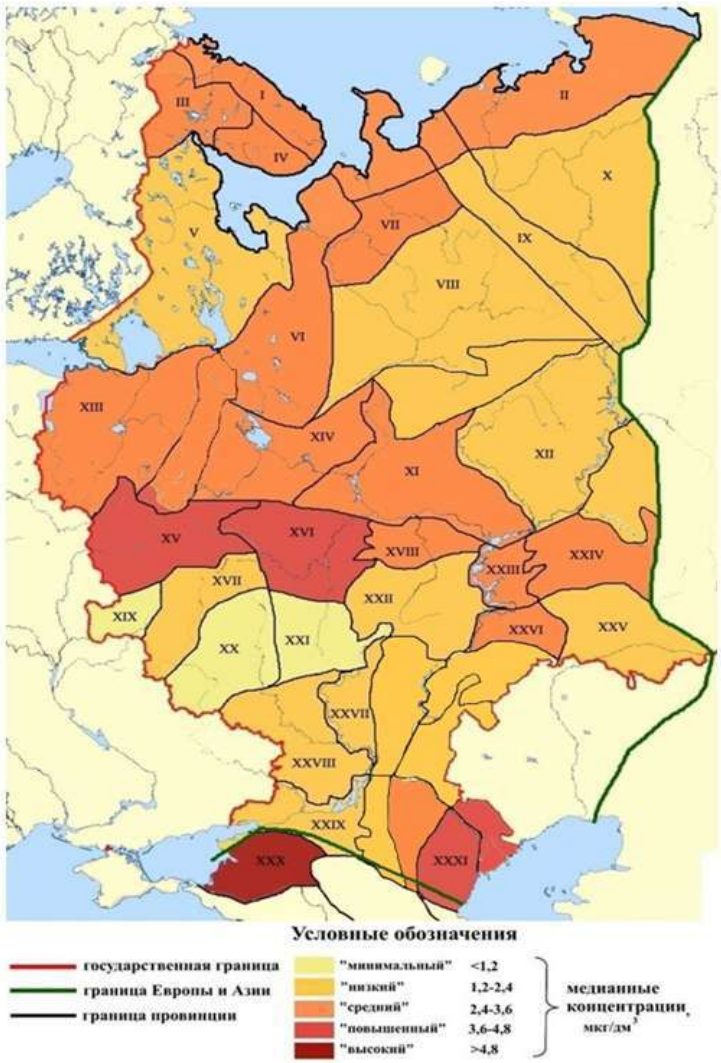


Рисунок 29 – Изменчивость содержания соединений меди речных водах ЕЧР [97, 178]

Как было показано в работе [97], «минимальные концентрации соединений меди (до 1,2 мкг/дм^3) в водах отмечены в реках Днепровско-Деснинской, Среднерусской и Окско-Донской провинций. Наибольшее число провинций относятся к числу территорий с низким (от 1,2 до 2,4 мкг/дм^3) и средним (от 2,4 до 3,6 мкг/дм^3) содержанием соединений меди в водной среде их рек. Повышенные значения медианных концентраций соединений меди (от 3,6 до 4,8 мкг/дм^3) характерны для водных объектов Смоленско-Московской и Мещерской провинций. В крайних южных провинциях участки р. Кубань имеют наивысшие медианные концентрации соединений меди на ЕЧР (более 4,8 мкг/дм^3)» [97, с. 86] (рисунок 29).

Растворенные формы соединений цинка. Для рек ЕЧР характерны медианные концентрации соединений цинка от минимальных пределов их обнаружения до 33,3 мкг/дм^3 (р. Пеза, д. Сафоново). Общая тенденция изменения содержания соединений цинка с севера на юг – убывание. Шаг группировки данных, рассчитанный при 95 % обеспеченности выборки медианных концентраций, составил 7,1 мг/дм^3 (рисунок 30) [178].

Минимальными концентрациями соединений цинка (до 7,1 мкг/дм^3) в воде характеризуются реки большинства провинций ЕЧР. В центральной части Смоленско-Московская, Мещерская и Северо-Приволжская провинции формируют неширокую полосу территорий с низкими концентрациями цинка в водной среде (от 7,1 до 14,2 мкг/дм^3). Такими же содержаниями характеризуются и Тиманская и Черноземельская провинции. Средними содержаниями соединений цинка в речных водах (от 14,2 до 21,4 мкг/дм^3) характеризуются водные объекты Малоземельско-Большеземельской, Мезенско- и Онежско- Двинской провинций. В центре этой области расположена Пинего-Мезенская провинция, в реках которой выявлены повышенные медианные концентрации цинка в воде (от 21,4 до 28,4 мкг/дм^3) [97].

Растворенные формы соединений марганца. Для рек ЕЧР характерны медианные концентрации марганца от минимальных пределов его обнаружения до 213,0 мкг/дм^3 (р. Медведица, р.п. Лысые горы) (рисунок 31).

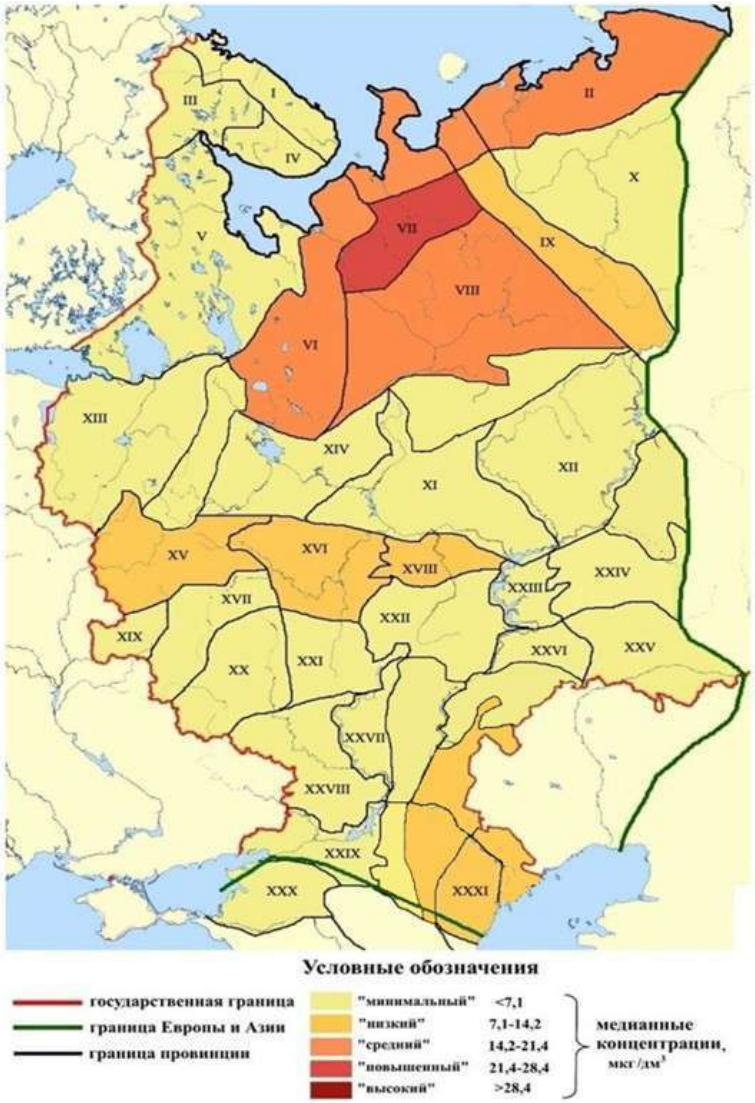


Рисунок 30 – Изменчивость содержания соединений цинка в речных водах ЕЧР [97, 178]

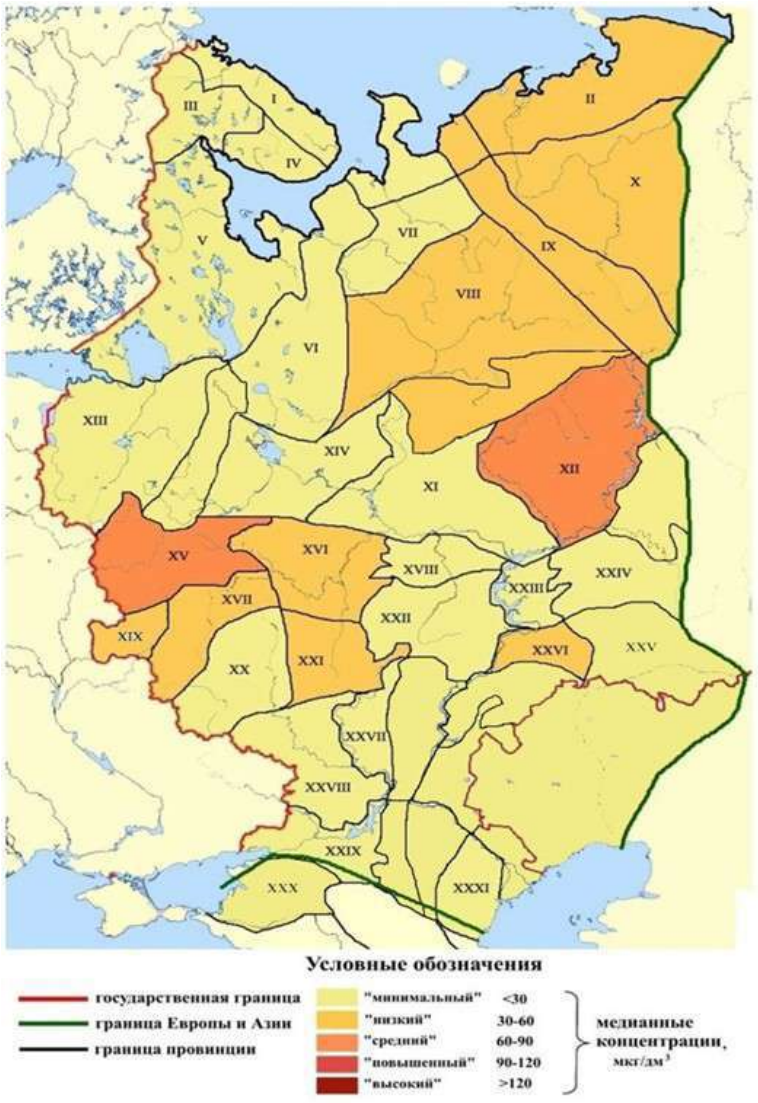


Рисунок 31 – Изменчивость содержания соединений марганца в речных водах ЕЧР [178]

Общая тенденция изменения содержания с севера на юг – не выявлена. Шаг группировки данных, рассчитанный при 95 % обеспеченности выборки медианных концентраций, составил 30 мкг/дм^3.

Минимальным содержанием соединений марганца (до 30 мкг/дм^3) в водах характеризуются водные объекты большинства провинций ЕЧР (рисунок 31). Относительно низкое содержание соединений марганца (от 30 до 60 мкг/дм^3) свойственно водным объектам формирующим два крупных очага – северо-восточный, в который входят Малоземельско-Большеземельская, Печорская, Тиманская, и Мезенско-Двинская провинции, и западный, состоящий из Мещерской, Приокской и Окско-Донской провинций. К каждому такому очагу прилежит участок территории со средними содержаниями медианных концентраций соединений марганца в водной среде (от 60 до 90 мкг/дм^3) [178].

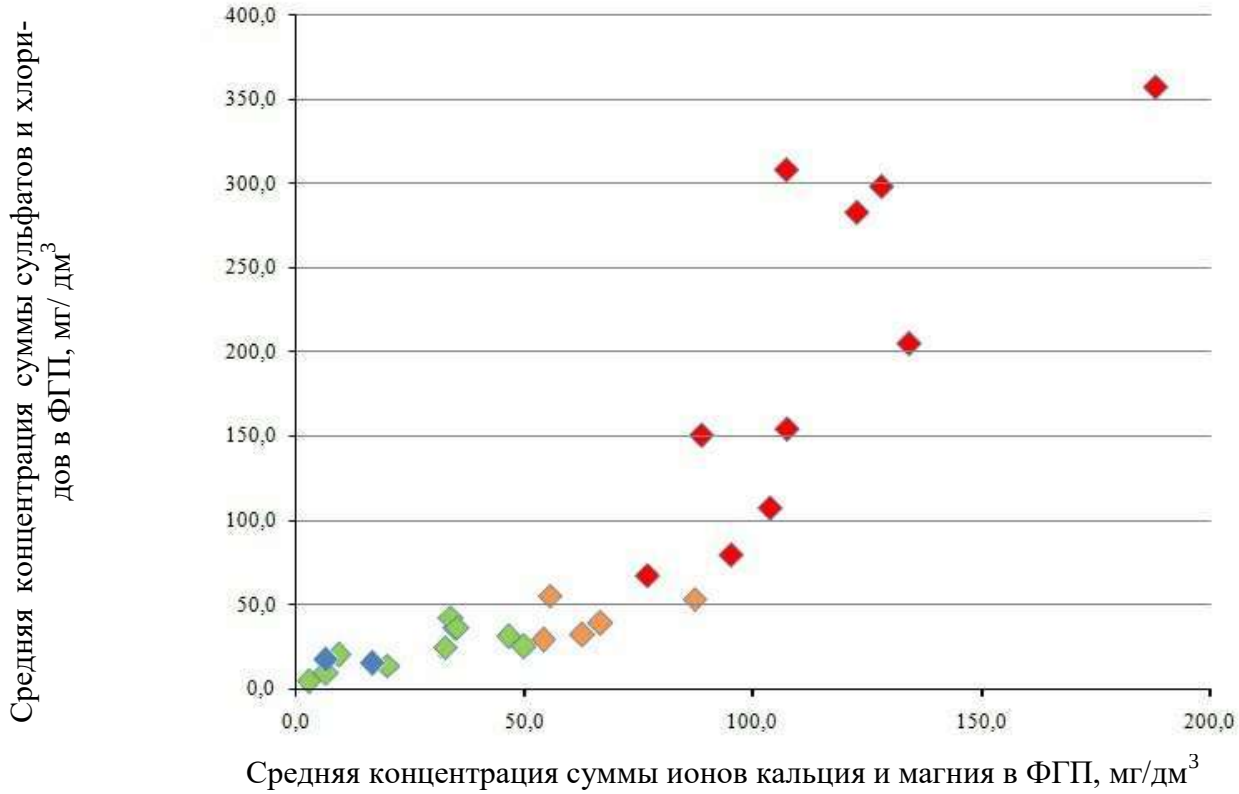
К ним относятся на северо-востоке Вятско-Камская, на западе – Смоленско-Московская провинция. Аномально высокий уровень медианных концентраций соединений марганца отмечаются в р. Медведица Окско-Донской провинции.

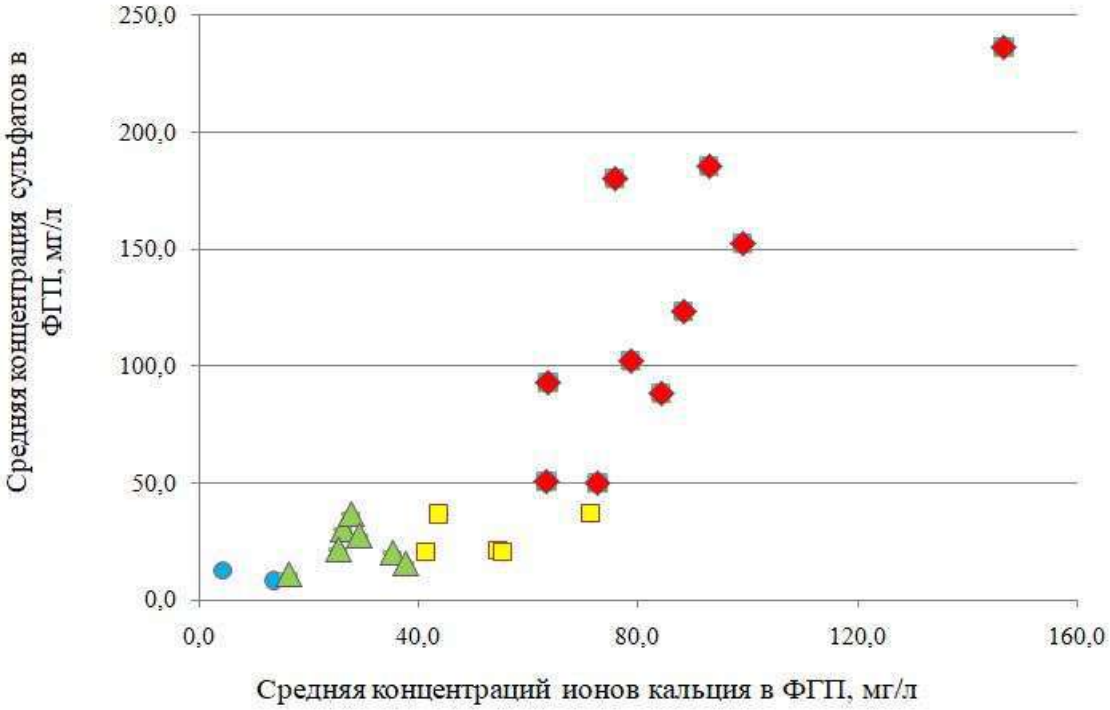
Таким образом, проведенный анализ показал, что большая часть исследованных веществ проявляет заметную пространственную неоднородность, которая проявляется в определенной ***гидрохимической зональности***.

К показателям, характеризующимся возрастанием с севера на юг медианных концентраций (за многолетний период), следует отнести главные ионы (магний, кальций, хлориды, сульфаты, гидрокарбонаты) (рисунок 32), минеральные формы азота, легкоокисляемые органические вещества (по $БПК_5$).

В число показателей, характеризующихся убыванием с севера на юг медианных концентраций, вошли соединения тяжелых металлов – железа, цинка (рисунок 33).

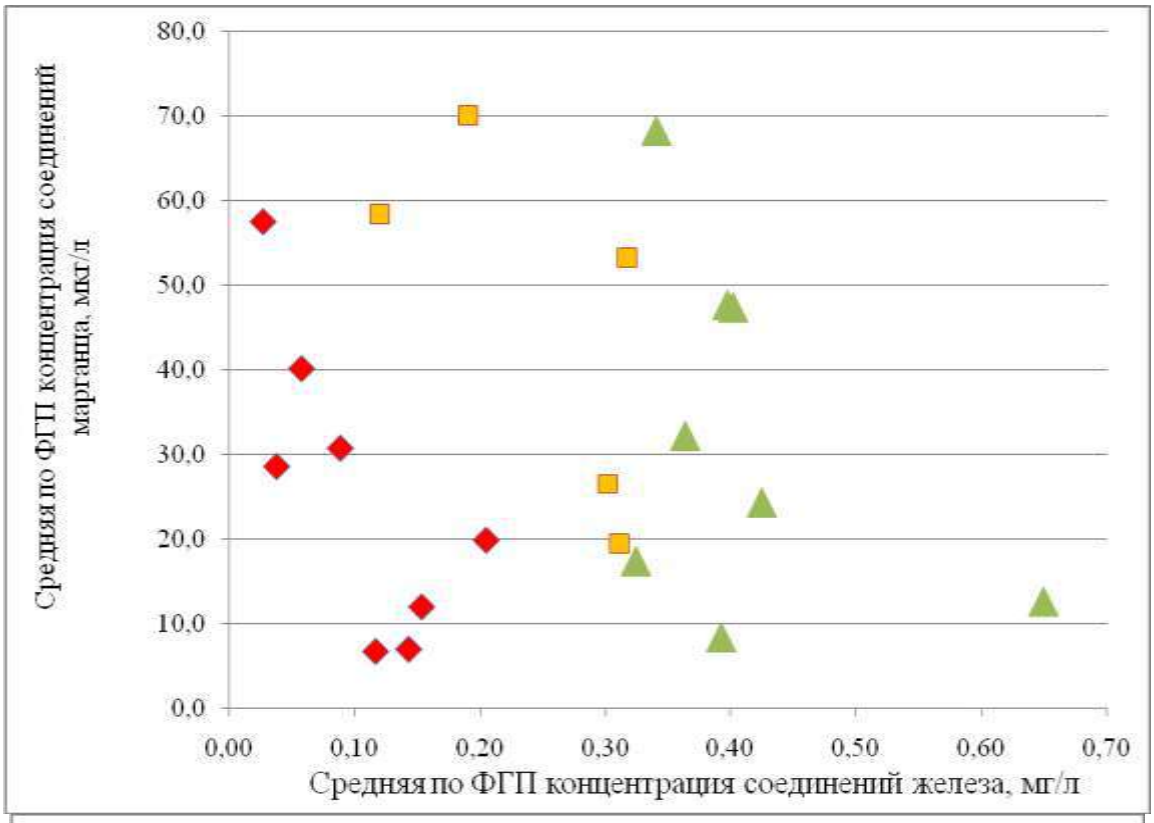
К показателям, не имеющим заметного направления изменчивости медианных концентрация, следует отнести: растворенный в воде кислород, нефтепродукты, соединения меди и марганца и органические вещества по ХПК.

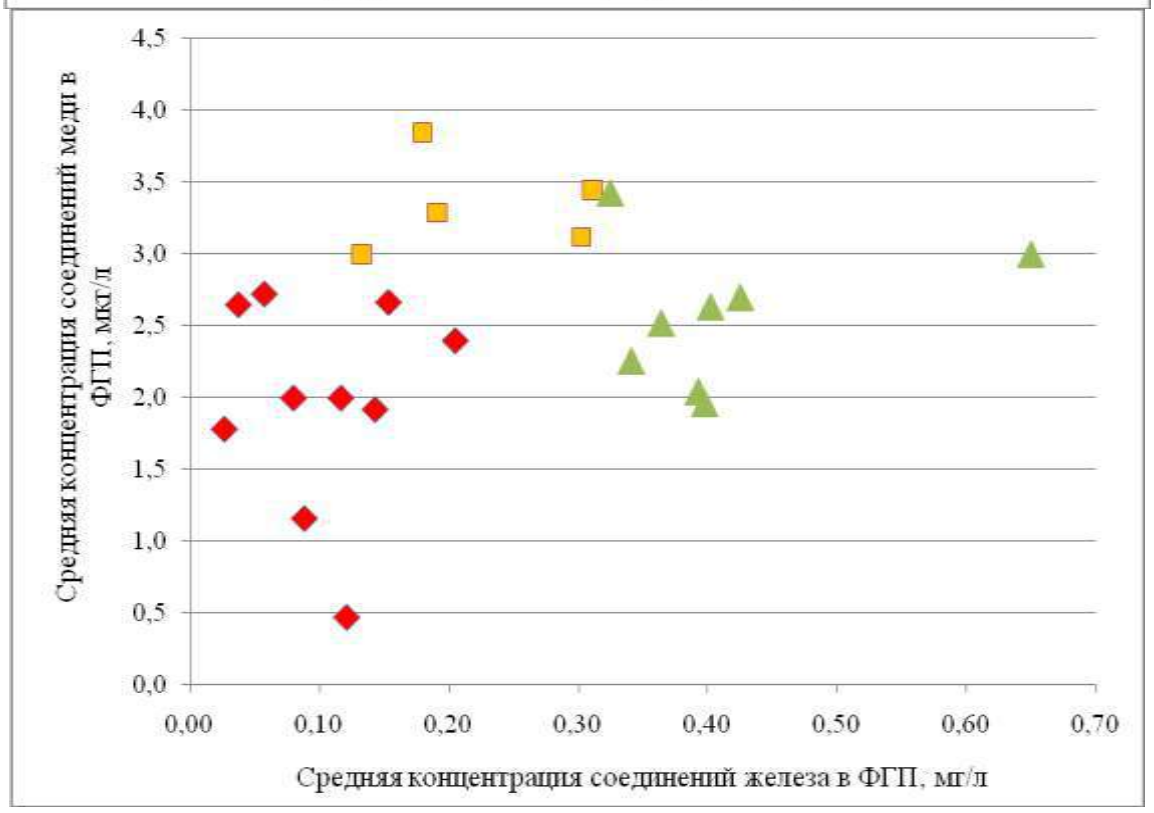




Обозначения: цветом выделены значения концентраций ионов в речной воде разных природных зон: синий – зоны тундры и лесотундры; зеленый – зона тайги; оранжевый – зона смешанных и широколиственных лесов; красный – зоны лесостепей и степей

Рисунок 32 – Изменение содержания главных ионов в речных водах различных физико-географических провинций ЕЧР





Обозначения: цветом выделены значения концентраций ионов в речной воде разных природных зон: зеленый – зона тайги; оранжевый – зона смешанных и широколиственных лесов; красный – зоны лесостепей и степей

Рисунок 33 – Изменение содержания соединений марганца, меди и железа в речных водах различных физико-географических провинций ЕЧР

Выводы по изменчивости химического состава воды рек ЕЧР

Сложившуюся гидрохимическую обстановку в различных физико-географических провинциях и происходящих в них процессах характеризует, в первую очередь, ионно-солевой состав вод. Общая тенденция изменчивости многолетних медианных концентраций главных ионов характеризуется возрастанием с севера на юг. В южном направлении возрастает удельное число атипичных водных объектов с относительно высокими концентрациями главных ионов, обусловленными, по-видимому, распространением сульфатных пород и их растворением (гипсоносных пород, гипсовых карстов).

Высокие и аномально высокие значения медианных концентраций отдельных химических веществ в речных водах наблюдаются в провинциях по [178]:

- ***главным ионам*** (магнию – Северо-Приволжской (участки рек Сундовик, Пьяна, Кудьма), Кинельско-Камской, Бугульминско-Белебеевской, Нижнедонской (р. Северский Донец), Донецко-Донской (р. Быстрая) и Самаро-Иргизской (р. Чапаевка); кальцию – Онежско-Двинской (р. Емца), Пинего-Мезенской (р. Кулой) и Среднерусской (р. Верда); хлоридам – Нижнедонской (р. Северский Донец), Донецко-Донской (р. Быстрая), Бугульминско-Белебеевской (р. Степной Зай) и Самаро-Иргизской (р. Чапаевка); сульфатам – Северо-Приволжской, Бугульминско-Белебеевской, Пинего-Мезенской (р. Кулой), Северо-Кавказской и Западно-Предкавказской (р. Кубань), Среднерусской (р. Верда); гидрокарбонатам – Приокской, Окско-Донской, Кинельско-Камской, Бугульминско-Белебеевской, Донецко-Донской, а также в рр. Битюг и Падовая);

- ***биогенным и органическим веществам*** (азоту аммонийному – Смоленско-Московской и Мещерской (участки рек Бужа и Клязьма); азоту нитратному – Среднерусской (участки реки Дон), Приокской, Бугульминско-Белебеевской, провинции Общий Сырт и Северо-Кавказской (р. Кубань); ЛОВ (по $БПК_5$) – Кинельско-Камской, Бугульминско-Белебеевской, Самаро-Иргизской и Мещерской (участки рек Клязьма и Теша); органическим веществам (по ХПК) – Прибалтийской (участки рек Кересть и Большая Вишера), Пинего-Мезенской, Мезенско-Двинской, Онежско-Двинской и Самаро-Иргизской; нефтепродуктам – Черноземельской (участки реки Волга), Нижнедонской, Смоленско-Московской, Верхне-Волжской, Ветлужско-Унжинской и Вятско-Камской);

- ***соединениям металлов*** (железу – Мещерской провинции (р. Пра), Онежско-Двинской, Пинего-Мезенской, Мезенско-Двинской, Тиманской, Печорской, Северо-Кавказской; меди – Смоленско-Московской, Мещерской, Черноземельской (участки реки Волга) и, особенно, Западно-Предкавказской и Северо-Кавказской (р. Кубань); цинку – Пинего-Мезенской, Малоземельской-Большеземельской, Мезенско- и Онежко-Двинской.

Обобщение медианных концентраций исследуемых речных участков ЕЧР по природным зонам позволило выявить закономерности зональных изменений химического состава воды рек. Зональные изменения медианных концентраций главных ионов и биогенных веществ представлены в таблице 52, органических веществ и соединений тяжелых металлов – в таблице 53. Обобщенные по природным зонам данные об изменчивости медианных концентраций главных ионов подтверждают тезис о том, в направлении с севера на юг возрастает содержание главных ионов в речных водах ЕЧР и, соответственно, наибольшие концентрации характерны для рек лесостепной и степной зоны (таблица 52). Аналогичная закономерность прослеживаются и для содержания биогенных веществ в воде рек различных природных зон.

В отношении соединений металлов выявлена обратная закономерность – снижения их содержания при смене природных зон с севера на юг и, соответственно, наибольшие концентрации характерны для рек северных территорий ЕЧР (кроме соединений марганца, концентрации которых значительно варьируют) таблица 53).

Для большинства рек практически во всех ФГП медианные значения концентраций ряда химических веществ превышают установленные нормативные значения качества вод. Это касается органических веществ, соединений железа, меди во всех рассмотренных природных зонах, а для цинка – в зонах тундры и лесотундры, зоне тайги и в зоне смешанных и широколиственных лесов. Кратность превышения ПДК по органическим веществ и соединениям цинка не высока и находится на уровне 1-2 ПДК. Превышение норматива по содержанию соединений железа и меди минимально в речных водах зон лесостепей и степей (в среднем 1-2 ПДК) и максимально в северных зонах (до 3-4 ПДК).

Таблица 52 – Зональное изменение медианных концентраций главных ионов и биогенных веществ в речных водах ЕЧР (за многолетний период 1985-2015 гг.)

Природная зона (зоны)	Главные ионы					Биогенные вещества	
	хлориды	сульфаты	гидрокарбонаты	ионы кальция	ионы магния	NH_4^+	NO_3^-
Тундра и лесотундра	2,7-23,8 6,3	3,1-30,1 9,5	7,3-79,3 40,3	1,8-20,2 10,6	0,8-5,0 2,8	0-0,20 0,07	0,01-0,27 0,04
Тайга	1,0-38,9 6,0	2,5-219,9 23,3	3,7-318,0 88,3	1,4-115,5 24,3	0,6-21,4 7,0	0-0,42 0,11	0-0,69 0,10
Зона смешанных и широколиственных лесов	2,7-40,0 14,0	5,0-480,0 44,2	22,0-300,5 172,6	6,2-219 52,4	2,4-58,6 13,2	0-1,50* **0,31**	0,04-2,02 0,49
Лесостепи и степи	6,4-282,0 **53,5**	20,2-524,0 **104,8**	94,9-394,7 **260,3**	30,1-196 **82,5**	5,7-58,7 **25,1**	0,05-0,74 **0,26**	0,13-2,97 **0,83**

Примечание: в числителе приведены диапазоны концентраций, в знаменателе – среднее значение для природной зоны; жирным выделено наибольшее среднемноголетнее значение.

Таблица 53 – Зональное изменение медианных концентраций органических веществ (мг/дм^3) и соединений тяжелых металлов в речных водах ЕЧР (за многолетний период 1985-2015 гг.)

Природная зона (зоны)	Органические вещества (ОВ)			Соединения тяжелых металлов				
	ЛОВ (по $БПК_5$)	ОВ (по ХПК)	нефте-продукты	Fe	Cu*	Zn*	Ni*	Mn*
Тундра и лесотундра	0,50-2,60 1,57	11,7-31,7 18,8	0-0,04 0,02	0,14-0,96 **0,37**	1,7-5,0 **3,16**	0-29,7 **12,1**	0-31,0 **8,8**	6,0-43,0 20,8
Тайга	0,50-3,07 1,50	5,30-49,9 25,4	0-0,16 0,03	0,05-0,86 0,34	0,6-7,0 2,70	0-33,2 10,6	0-41,0 3,7	4,0-100,0 33,5
Зона смешанных и широколиственных лесов	1,00-5,10 2,19	13,0-75,0 **27,3**	0-0,12 0,04	0,06-1,87 0,30	0 - 6,0 3,10	0-27,0 7,0	0-14,5 3,9	0-135,0 **39,2**
Лесостепи и степи	1,40-3,75 **2,51**	8,80-35,0 22,0	0-0,14 0,04	0,01-0,38 0,11	0 - 5,0 1,65	0-8,0 2,7	0-6,0 1,7	0-213,0 33,7

Примечание: в числителе приведены диапазоны концентраций, в знаменателе – среднее значение для природной зоны;

*концентрации указаны в мкг/дм^3; жирным выделено наибольшее среднемноголетнее значение.

7.1.2 Пространственно-временная изменчивость качества речных вод европейской части России

Оценка изменчивости качества речных вод ЕЧР проведена на основе обобщения и анализа данных, представленных в разделах 3.3, 4.3, 5.3 и 6.3, где была рассмотрена пространственно-временная изменчивость качества воды и степень ее загрязненности на исследуемых участках рек по ФГП и природным зонам. Выявлена пространственно-временная неоднородность в состоянии речных участков по степени загрязненности их водной среды (качеству воды). Большинство исследуемых речных участков ЕЧР по степени загрязненности воды характеризуются как стабильно «загрязненные» и/или «очень загрязненные», что соответствует 3-му классу качества воды. Доля таких речных участков составляет от 30 % (в зонах лесостепей и степей) до 57 % (в зоне тайги). Существенна также доля речных участков, находящихся в переходном состоянии, когда качество воды меняется в пределах 3-4 классов, и составляет от 19 % (в зоне тайги) до 39 % (в зонах лесостепей и степей) (таблица 54).

Таблица 54 – Распределение по природным зонам (доля в %) речных участков с разной степенью загрязненности и качеством воды

Природная зона (зоны)	Степень загрязненности воды (класс качества)			
	слабо загрязненная и загрязненная (2-3)	загрязненная и очень загрязненная (3)	загрязненная и грязная (3-4)	грязная (4)
Зоны тундры и лесотундры	22,2	**44,4**	22,2	11,1
Зона тайги	14,8	**56,8**	19,3	9,1
Зона смешанных и широколиственных лесов	–	**47,6**	25,6	26,8
Зоны лесостепей и степей	–	**30,3**	**39,4**	**30,3**
Всего (по ЕЧР)	6,1	**37,6**	**27,3**	20,8

Наблюдается пространственная неоднородность в пределах ЕЧР в изменчивости степени загрязненности воды рек разных физико-географических провинций внутри природной зоны, так и между природными зонами. В зональной изменчивости прослеживается общая закономерность возрастания доли стабильно «очень загрязненных» или «грязных» речных участков при движении с севера на юг. Именно в зонах смешанных и широколиственных лесов, лесостепей и степей высока доля речных участков, водная среда которых характеризуется стабильно высокой степенью загрязненности воды – «грязная» и/или «очень грязная» (24-27 %).

Качество речных вод ЕЧР по отдельным крупным водосборам сильно не отличается и варьирует в градациях 3-4 классов, наибольшие изменения могут быть внутри бассейна реки. Например, качество воды в бассейне р. Ока варьирует от 2 класса («слабо загрязненная») до 5 («экстремально грязная»). Самые высокие значения УКИЗВ имеют рр. Упа и Москва (6,0 и более), а также рр. Осетр, Нара, Москва, Пра, Клязьма, Уводь и Теша (5,0-6,0), что соответствует 4-му классу качества («грязная» или «очень грязная» вода), а в отдельные годы даже 5-му классу («экстремально грязная» вода). Во временной динамике изменения показателей качества воды прослеживается устойчивая тенденция к снижению значений УКИЗВ и улучшению качества речных вод в бассейне р. Ока [53, 223].

В бассейне Дона качество речных вод характеризуется 3 классом (3А – «загрязненная» и 3Б – «очень загрязненная») и 4 классом (разряд «А», «Б» «грязная»). Такая степень загрязненности воды обусловлена целым комплексом загрязняющих веществ, особенно критическими показателями загрязненности – соединениями меди и азота нитритного, реже – соединениями железа и марганца, азота аммонийного и легкоокисляемыми органическими веществами (по $БПК_5$) [194].

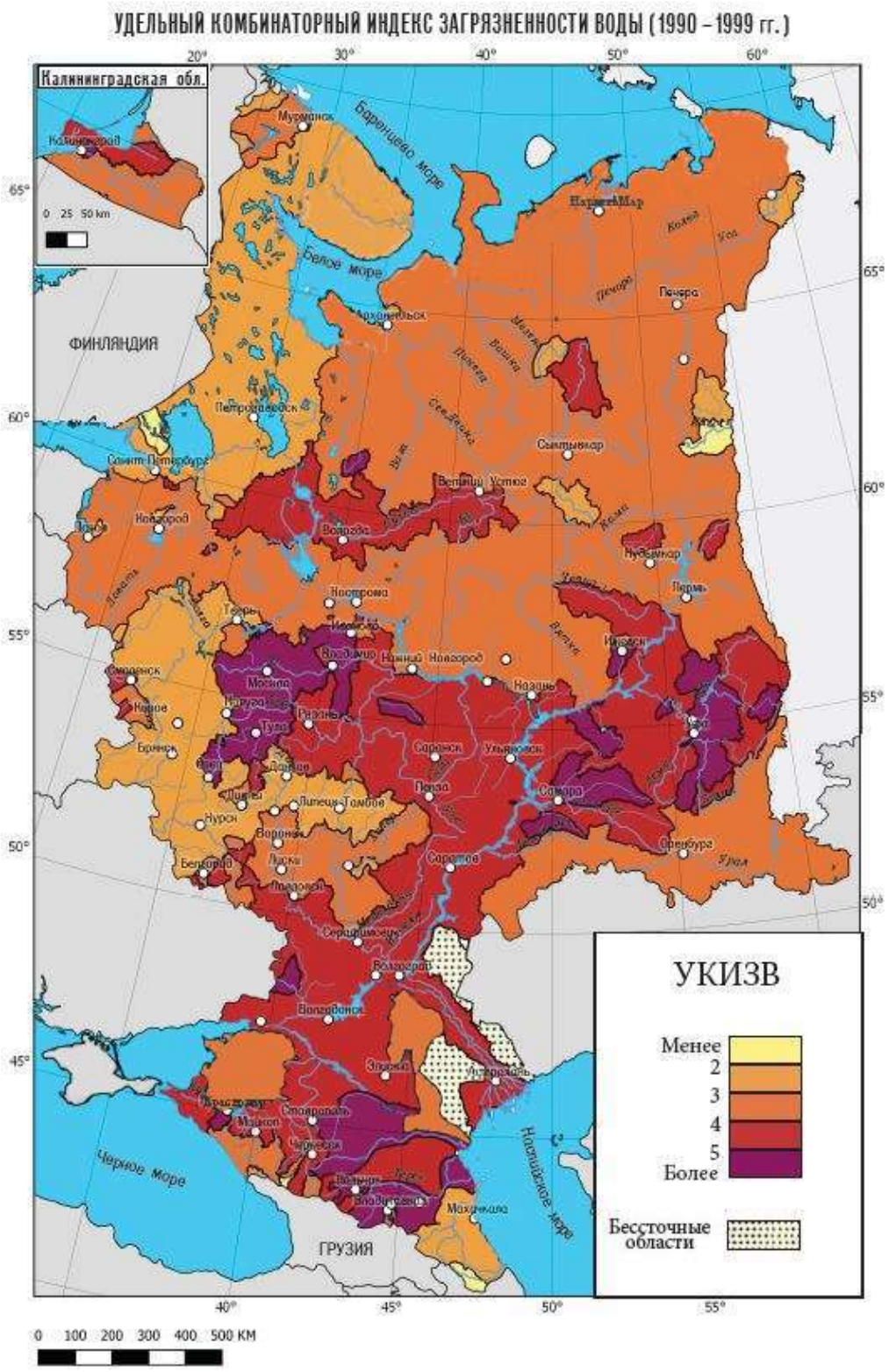
Динамика качества воды и степени ее загрязненности по двум периодам: 1990-1999 гг. и 2000-2017 гг.

Периоды 1990–1999 гг. и 2000–2017 гг. отличаются по условиям формирования водного и, особенно, гидрохимического стока. Для первого периода характерно постепенное сокращение масштабов хозяйственной деятельности, и, как следствие, сокращение объемов сбросов коммунально-бытовых и промышленных сточных вод. Значительно были сокращены объемы внесения удобрений и площади обрабатываемых сель-

скохозяйственных земель. Вместе с тем, ослабла и способность государства контролировать выполнение природоохранного законодательства, начался износ водоочистных сооружений [44].

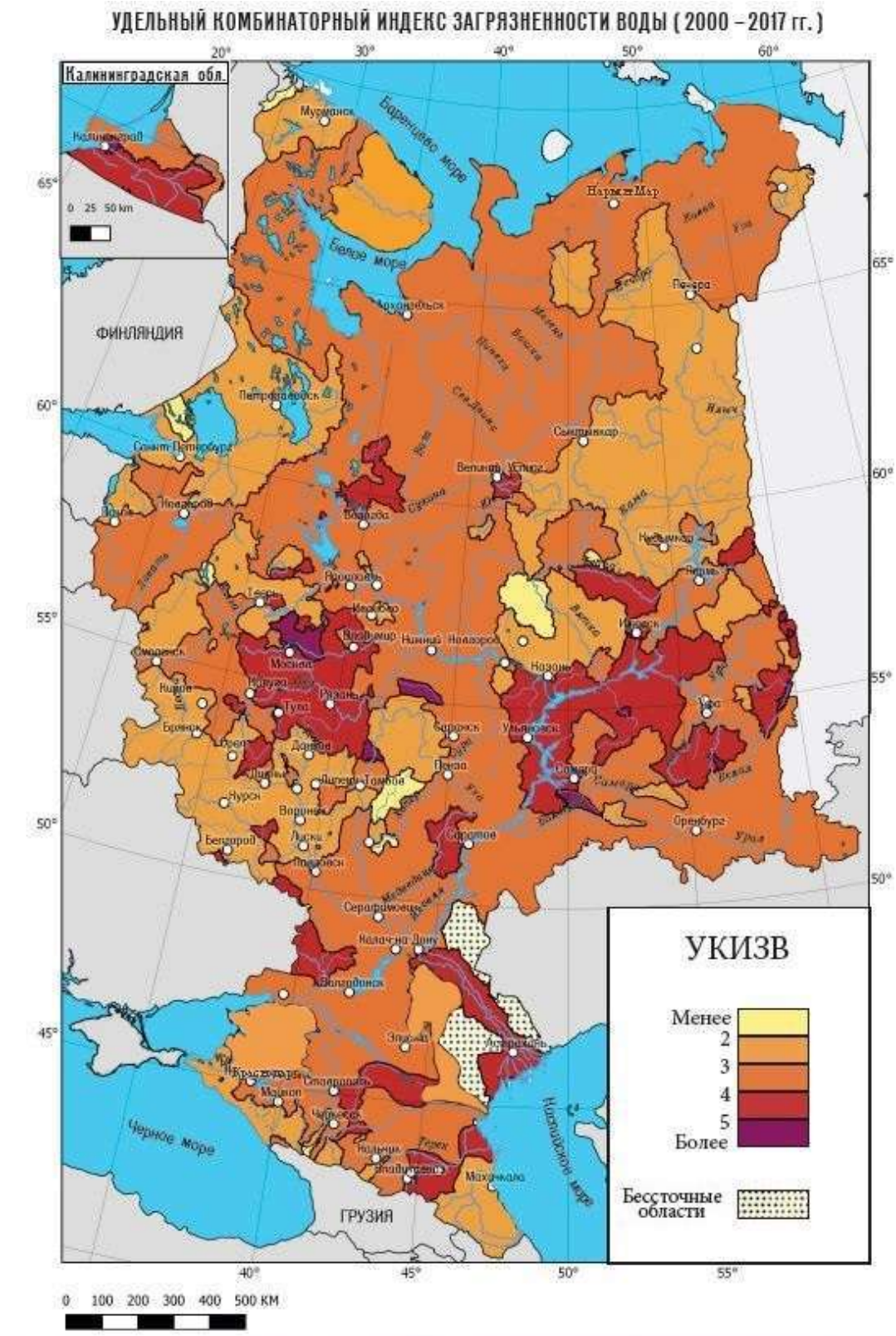
В целом для ЕЧР 1990-е годы были многоводными, что обеспечило условия для разбавления загрязняющих веществ. При средней водности второго периода (2000–2017 гг.) водосборы юга ЕЧР отличались несколькими крупными маловодьями, особенно в бассейне Дона с 2007 г. В течение рассматриваемых периодов происходил рост температуры воздуха и величин прямой солнечной радиации, что привело к сокращению сроков ледостава на реках и водоемах, а также к росту температуры воды, уменьшению стока взвешенных веществ и времени затопления поймы. Все это в совокупности повлияло на химический состав и качество речных вод [44].

Если рассмотреть изменчивость качества речных вод за два больших периода до и после 2000 года, то можно отметить, что пространственное распределение значений УКИЗВ в пределах ЕЧР достаточно неоднородно. Выделяются обширные области повышенных значений удельного показателя и, прежде всего, это характерно для водосборных бассейнов реки Волга, Нижнего Дона и южных рек бассейна Каспийского моря. Именно для этих бассейнов характерны максимальные значения УКИЗВ: 4,0 и выше, что соответствует плохому качеству воды - 4-го класса качества («грязная» или «очень грязная»). Но, несмотря на это, во временной изменчивости качества речных вод ЕЧР (после 2000 года) наблюдается устойчивая тенденция к снижению значений УКИЗВ и улучшению качества речных вод в бассейнах рек (рисунки 34 и 35).



(Обозначения: значения УКИЗВ менее 2,0 соответствуют 2 классу качества («слабо загрязненная» вода), в интервале (2; 3] – 3 классу, разряд 3 «а», «загрязненная»; (3; 4] – 3 классу, разряд 3 «б», «очень загрязненная»; (4; 8] – 4 классу, разряд «а», «б» «грязная»)

Рисунок 34 – Изменчивость значений УКИЗВ и качества речных вод ЕЧР в период 1990-1999 гг. [44]



(Обозначения: значения УКИЗВ менее 2,0 соответствуют 2 классу качества («слабо загрязненная» вода), в интервале (2; 3] – 3 классу, разряд 3 «а», «загрязненная»; (3; 4] – 3 классу, разряд 3 «б», «очень загрязненная»; (4; 8] – 4 классу, разряд «а», «б» «грязная»)

Рисунок 35 – Изменчивость значений УКИЗВ и качества речных вод ЕЧР в период 2000-2017 гг. [44]

Пространственно-временная динамика качества воды и степени ее загрязненности по пятилетним периодам (1990-2015 гг.)

Представленное выше сравнение качества воды на участках рек ЕЧР за два больших периода дает нам представление только об основной направленности изменчивости качества воды и степени загрязненности, которая проявляется в тенденции улучшения качества воды (в снижении значений УКИЗВ) на участках рек различных бассейнов и природных зон. Более детально можно проследить изменение качества речных вод ЕЧР по пятилетним периодам. На рисунках 36-38 представлено схематичное распределение значений УКИЗВ и соответствующие им классы качества воды в бассейнах рек ЕЧР.

Сравнительный анализ данных о качестве воды и степени ее загрязненности показал, что:

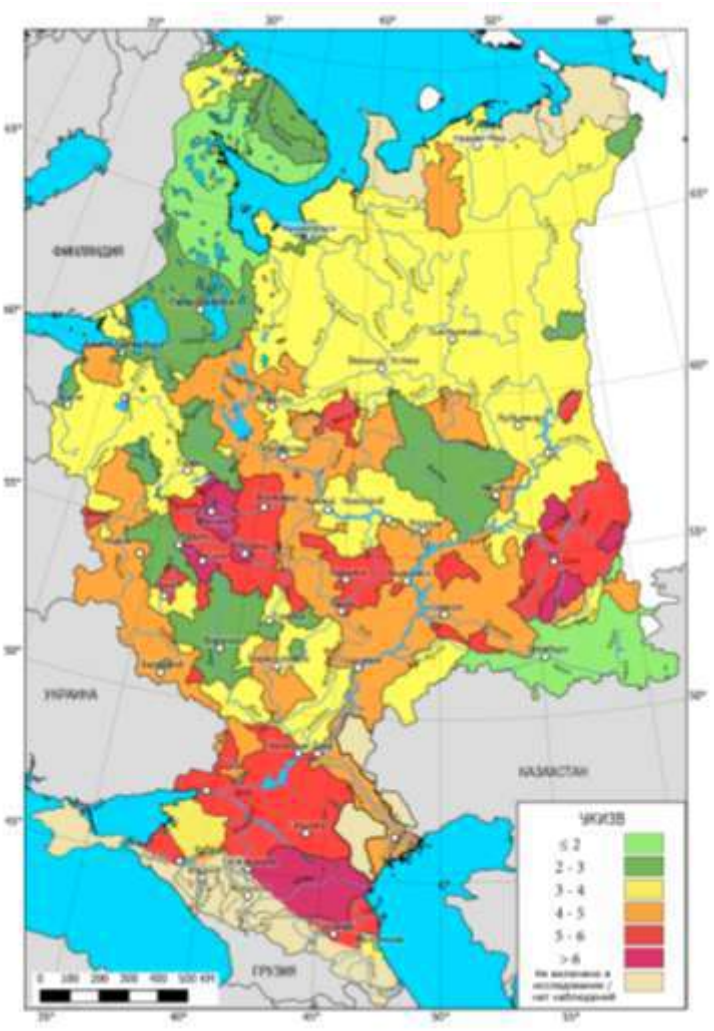
1) в период с 1990 по 1995 год наблюдалось улучшение качества воды рек в пределах зоны тайги в бассейне Печоры, в зоне смешанных и широколиственных лесов – в бассейне Камы и Оки, а также в зоне степей – в бассейне Нижнего Дона (рисунок 36);

2) с 1995 по 2000 год сохранялись те же тенденции улучшения качества воды и снижения степени загрязненности воды рек, отмеченные за 1990-1995 года, дополнительно отмечалось снижение загрязненности воды на участках рек в бассейне Верней Волги и южнее в зоне лесостепей, незначительное ухудшение качества воды – севернее, для рек Карелии и Кольского полуострова (рисунки 36 и 37);

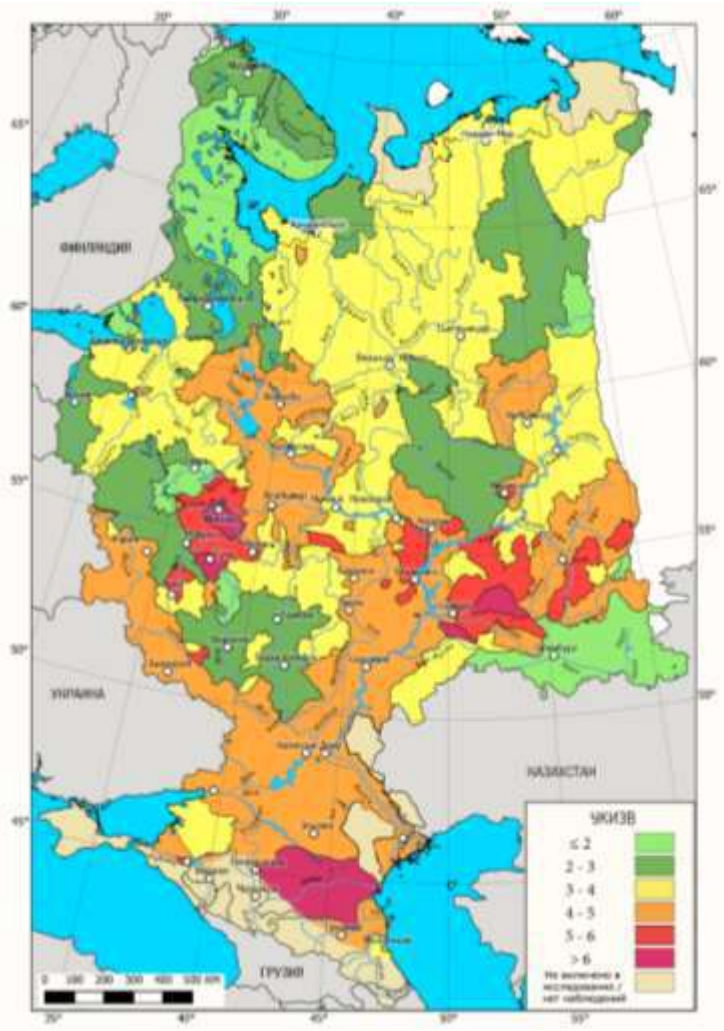
3) в период с 2000 по 2005 год наблюдалось улучшение качества воды рек в пределах зоны тайги в бассейнах рек Мезень, Северная Двина и Онега, в зоне смешанных и широколиственных лесов – в бассейне Камы (рисунок 37);

4) в период с 2005 по 2010 год сохранялись тенденции улучшения качества воды в северный районах ЕЧР (реки Карелии и Кольского полуострова,) и в бассейнах отдельных притоков Камы (рр. Уфа и Белая), вместе с этим было отмечено повышение степени загрязненности воды на участках рек в бассейнах Онеги, Мезени, Нижнего Дона и притоке Камы – р. Вятка (рисунки 37 и 38);

а)



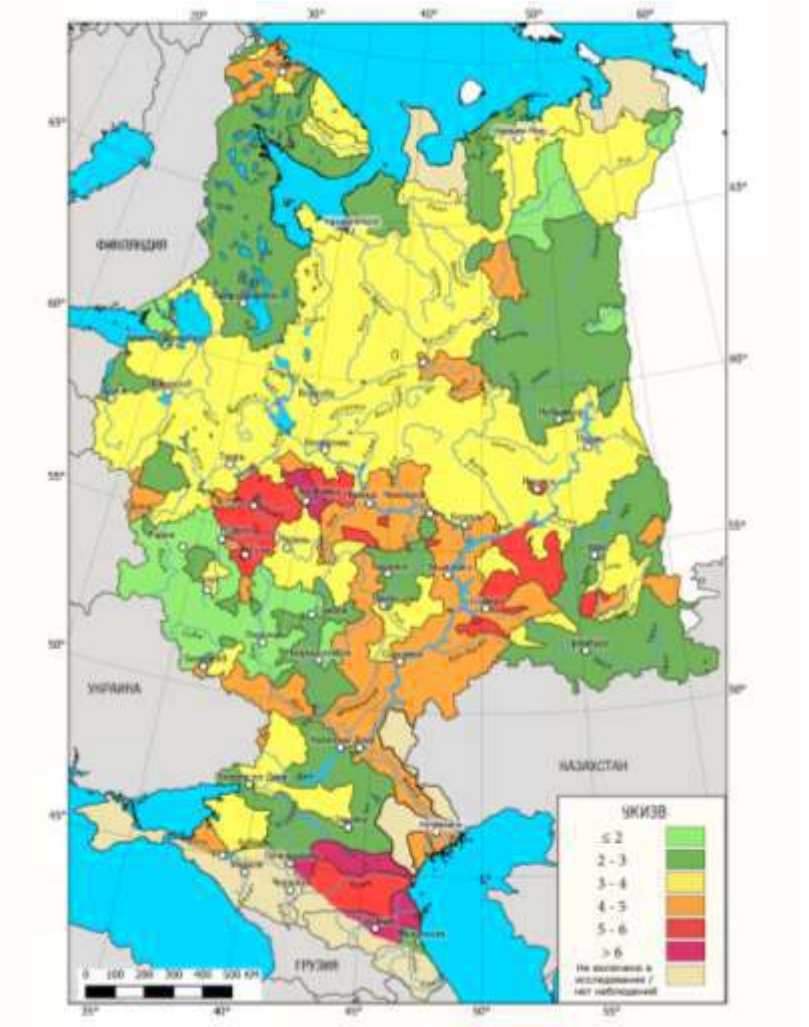
б)



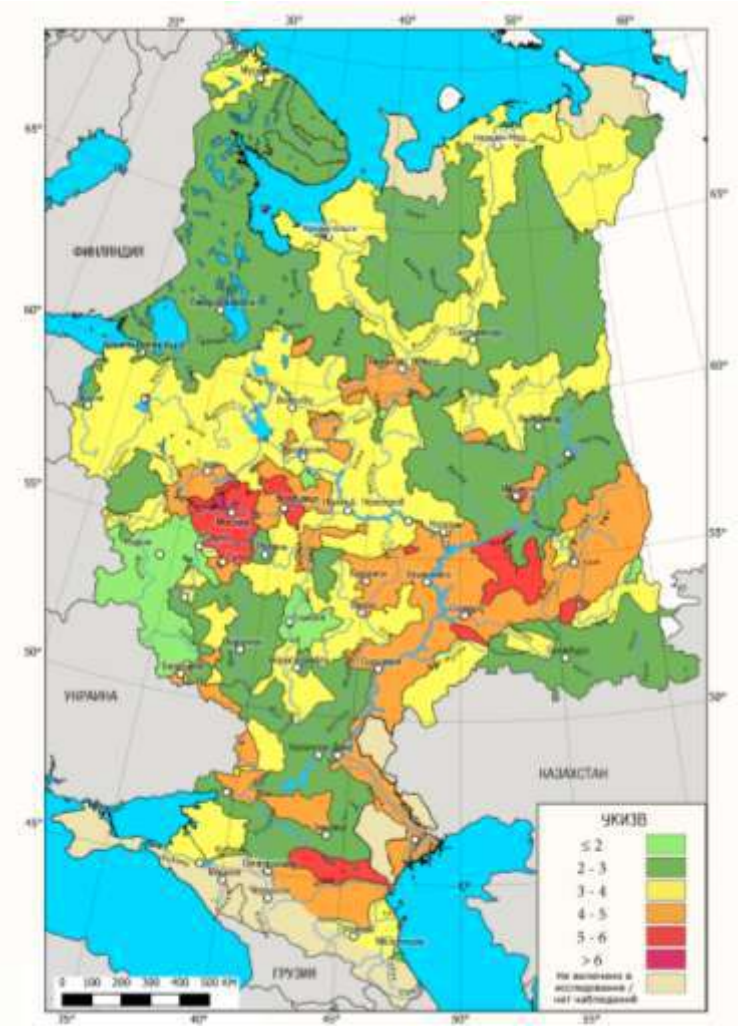
(Обозначения: значения УКИЗВ менее 2,0 соответствуют 2 классу качества («слабо загрязненная» вода), в интервале (2; 3] – 3 классу, разряд 3 «а», «загрязненная»; (3; 4] – 3 классу, разряд 3 «б», «очень загрязненная»; (4; 8] – 4 классу, разряд «а», «б» «грязная»)

Рисунок 36 – Изменчивость значений УКИЗВ и качества речных вод ЕЧР в 1990 (а) и 1995 (б) году

а)



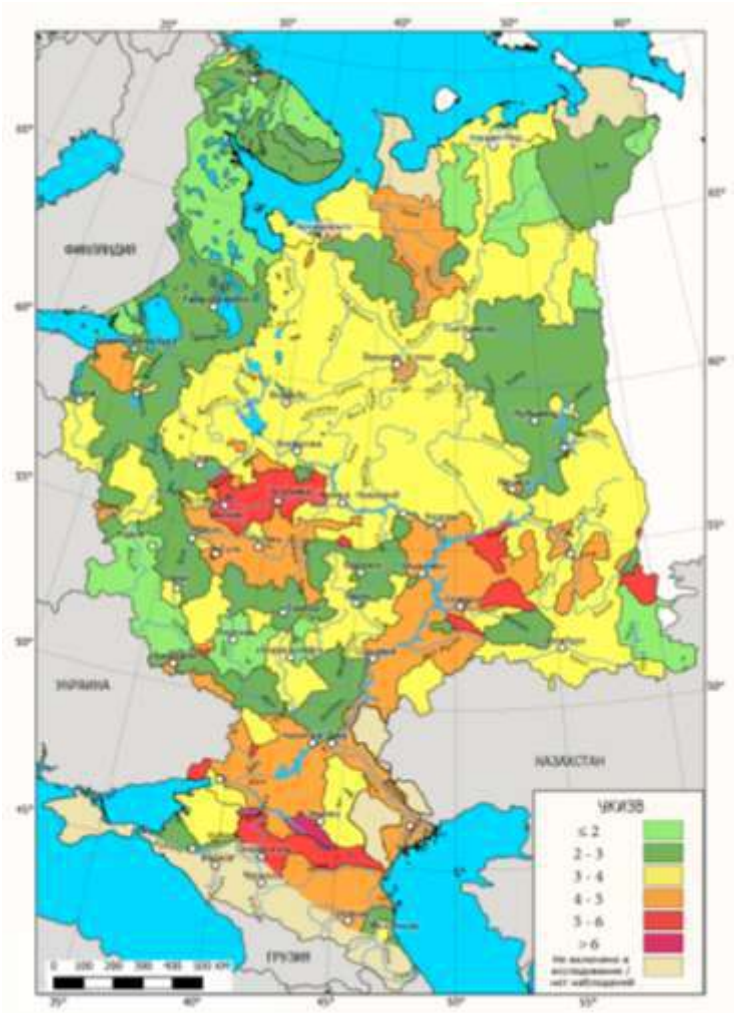
б)



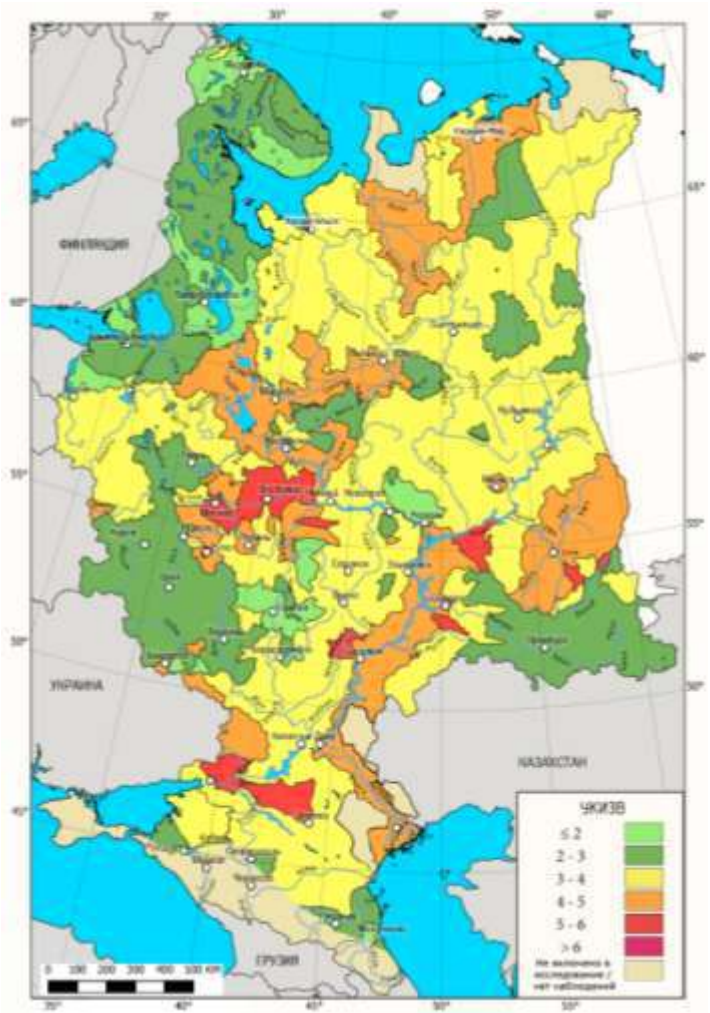
(Обозначения: значения УКИЗВ менее 2,0 соответствуют 2 классу качества («слабо загрязненная» вода), в интервале (2; 3] – 3 классу, разряд 3 «а», «загрязненная»; (3; 4] – 3 классу, разряд 3 «б», «очень загрязненная»; (4; 8] – 4 классу, разряд «а», «б» «грязная»)

Рисунок 37 – Изменчивость значений УКИЗВ и качества речных вод ЕЧР в 2000 (а) и 2005 (б) году

а)



б)



(Обозначения: значения УКИЗВ менее 2,0 соответствуют 2 классу качества («слабо загрязненная» вода), в интервале (2; 3] – 3 классу, разряд 3 «а», «загрязненная»; (3; 4] – 3 классу, разряд 3 «б», «очень загрязненная»; (4; 8] – 4 классу, разряд «а», «б» «грязная»)

Рисунок 38 – Изменчивость значений УКИЗВ и качества речных вод ЕЧР в 2010 (а) и 2015 (б) году

5) в период с 2010 по 2015 год наблюдалось улучшение качества воды рек в пределах зон лесостепей и степей (бассейны рек Нижнего Дона и др.) на фоне незначительного снижения качества воды в зоне тайги в бассейнах рек Верхней Волги и на устьевом участке Печоры, в зоне смешанных и широколиственных лесов – в бассейне Камы (рисунок 38).

Таким образом, в целом в пространственно-временной изменчивости качества воды наблюдались разнонаправленные тенденции с преобладанием улучшения качества речных вод ЕЧР и снижения степени их загрязненности.

7.2 Выявление аномальных значений гидрохимических показателей в речных водах ЕЧР

Нарушение гидрохимической зональности приводит к формированию аномальных значений гидрохимических параметров или гидрохимических аномалий. Под гидрохимической аномалией понимается «участок гидрохимического поля какого-либо компонента, группы компонентов или общей минерализации вод, характеризующийся повышенными или пониженными значениями по сравнению с окружающим фоном» [93, 234]. Гидрохимические аномалии могут образоваться как под влиянием рудных тел, первичных и вторичных ореолов рассеяния в породах рудных месторождений, так и под влиянием других причин, в частности концентрирования кларковых содержаний химических элементов в литосфере [112].

Существование региональной неоднородности химического состава природных вод является следствием важнейшей особенности строения, «основного проявления» биосферы – ее геохимической гетерогенности (мозаичности) (цит. В.И. Вернадского по [274]). По мнению В.И. Вернадского, с геохимической точки зрения любые естественные образования – природный компонент, геологическое тело, ландшафт, экосистема – определяются, прежде всего, своим «элементарным химическим составом, т. е. характерным только для них количественным распределением химических элементов».

В пределах всей территории России выделяются фрагменты семи геохимических мегапровинций, весьма неоднородных в геохимическом отношении [103], при этом две из них приурочены к европейской части России. В границах мегапровинций выделены отдельные типы геохимических провинций, которые отвечают плитам, щитам и покровно-складчатым областям и характеризуются чертами геохимической индивидуаль-

ности. Например, особенностью аномальных полей геохимических провинций кристаллических щитов является доминирование в них халькофильных элементов [103, 156].

Важнейшие геохимические провинции, выделяемые в пределах ЕЧР, приведены на рисунке 39. В геохимической провинции на Балтийском щите главные элементы халькофильной группы представлены Cu, ведущие литофильные элементы – U и Mo, сидерофильные – Ni.



Обозначения на картосхеме:

1-5 – цветовое обозначение типа аномальных геохимических провинций (ГХП) (с доминирующими элементами):
1 – (I-Б) Балтийски щит (Cu, Mo, Ni и др.),
2 – (I-ТБ) Тимано-Баренцево-морская ГПХ (Cr, Mn. Ni и др.),
3 – (I-ВЕ) Восточно-Европейская ГХП (Cu, Zn, Mo, Mn и др.),
4 – (II-СФ) Скифская ГХП (Sr, Ti, Zr и др.),
5 – (II-КВ) Кавказская ГХП (в работе не рассматривается);
6 – границы мегапровинций;
7 – границы геохимических провинций;
8 – обозначение типа ГХП.

Рисунок 39 – Геохимические типы аномальных геохимических полей в пределах ЕЧР (фрагмент карты из [103])

В границах ЕЧР из геохимических провинций платформенных плит выделяют Восточно-Европейскую и Скифскую провинцию. Скифская геохимическая провинция

(сформировавшаяся на молодой платформе) характеризуется преимущественно сидеролитофильными аномальными геохимическими полями с таким составом элементов – U, Sr, Ti, Zr. В плане доминирования U, Sr, Zr, Ti, к ней близка и Восточно-Европейская геохимическая провинция, но в ней также широко распространены и поля Cu, Zn, P, Mo, Mn [103, 165].

Существенно отличаются аномальные геохимические поля Тимано-Баренцевоморской платформенной провинции (I-ТБ) (см. рисунок 39), которая приурочена к молодой платформе и в ней доминируют поля Cr, Mn и Ni.

Геохимические провинции во фрактальном ряду имеют неоднородности регионального уровня. Это можно четко проследить на примере Балтийской провинции, в которой выделяют Кольскую (Mo, U, Cu, Cr, Ni, Co, Mn, Zn, Ag) и Карельскую (Cu, Cr, Ni, Mn, Mo, U, V) геохимические области, которые достаточно отчетливо специализированы: первая – на литофильные элементы, а вторая – на сидерофильные. Эта тенденция продолжается в аномальных геохимических полях мегазон, зон и рудных районов. Выделенные в Кольской области Ловозерская и Печенгская мегазоны, характеризующиеся преимущественно литофильными и сидерофильными свойствами соответственно [103, 165].

Такие пространственные геологические и ландшафтно-геохимические неоднородности обусловливают формирование территорий, которые были названы провинциями. Различают физико-географические провинции (описано в главе 1), геохимические, биогеохимические, гидрогеохимические и т. п. В общем смысле, «геохимические провинции – это крупные геохимически однородные области с определенной ассоциацией химических элементов. Характерная особенность геохимических провинций – повышенная концентрация в них так называемых «типоморфных» химических элементов» [43, с. 17].

В пределах геохимических провинций ЕЧР могут формироваться гидрохимические аномалии в речных водах, характеризующиеся повышенным или пониженным содержанием типоморфных элементов или других веществ.

Как правило, гидрохимические аномалии в речных водах по своему генезису могут быть естественными (природными), формирование которых вызвано действием природных, особенно, геологических процессов, и искусственными (антропогенными

или техногенными), связанными с деятельностью человека [93, 266]. В отдельных случаях аномалии могут быть смешенного типа.

Порог аномальности концентраций определяли как величины, отличающиеся от среднего значения содержания вещества для данной природной зоне на 2 стандартных отклонения (слабая аномалия) и 3 стандартных отклонения (уверенная аномалия) [103]: $C_a \geq C_ф \pm 2\sigma$ и $C_a \geq C_ф \pm 3\sigma$, соответственно, где C_a – аномальное содержание; $C_ф$ – фоновое содержание элемента; σ - среднеквадратичное отклонение, которое характеризует разброс концентраций вещества.

После выявления потенциальных гидрохимических аномалий классифицировали их по знаку: положительные (аномальные содержания превышают фоновые значения) и отрицательные (аномальные содержания меньше фоновых параметров). Интенсивность проявления гидрохимической аномалии проявляется в коэффициенте концентрации химического вещества по сравнению с фоновым его содержанием в остальной совокупности (коэффициент контрастности) [116]. Рассчитывается он как отношение величины аномального содержания вещества в воде на участке реки к фоновому значению для территории (части бассейна и т.п.).

Как было показано ранее [93, 212] важным моментом в характеристике гидрохимической аномалии является вопрос о её генезе – антропогенная или природная. «Без антропогенной нагрузки или действия глобальных факторов компонентный состав речных вод, очевидно, должен быть устойчив во времени» [93, с, 425] и отсутствие тренда за многолетний период может свидетельствовать об устойчивости химического состава воды и о природном характере выявленной аномалии в речных водах. С другой стороны, проведенное выше исследование показало, что во многих природных зонах обнаруживаются те или иные тенденции изменения содержания химических веществ в речных водах. Очевидно, что прирост содержания химического вещества тесно связан с прямой или косвенной антропогенной нагрузкой, так что если гидрохимическая аномалия сопровождается возрастающим трендом, это говорит о её антропогенном генезисе за счет высокой антропогенной нагрузки (например, наличие мощных источников загрязнения в виде добывающих и обогатительных фабрик и др.). Убывающий тренд при наличии аномально низких концентраций веществ, вероятно, так же связан с антропогенным воздействием, но не с ростом нагрузки а, напротив, с её снижением. Стабильно аномально высокие или аномально низкие концентрации того или иного веще-

ства без каких-либо статистически значимых тенденций за 30-летний период говорят о вероятно природном (естественном) характере выявленных аномалий [93, 179, 212].

Статистический анализ гидрохимических данных для выявления и характеристики гидрохимических аномалий (подготовка таблицы 55) выполнены совместно с коллегами лаборатории дистанционных и химико-биологических методов наблюдений за состоянием и загрязнением водных объектов ГХИ к.х.н. Л.С. Косменко, к.б.н. А.О. Даниленко и к.б.н. М.Ю. Кондаковой. Дальнейший анализ и интерпретация данных, построение картосхем распределения аномалий проведена соискателем самостоятельно для реализации задач данного исследования. Отдельные совместные результаты исследования с коллегами опубликованы в различных изданиях [93, 179, 212].

Для выявления гидрохимических аномалий проведена статистическая обработка гидрохимических данных по каждому из 14 химических веществ для всех исследуемых речных участков ЕЧР. Из общего количества участков рек гидрогеохимические аномалии были установлены на 113 из них (то есть доля участков рек с аномалиям составила 43,9 %). На каждом из этих участков количество выявленных гидрохимических аномалий варьировало от 1 до 6 (таблица 55) . Всего из более, чем 3500 возможных значений (вариант медианных концентраций) выявлено 206 аномальных [179].

Гидрохимические показатели по доле (в % от общего числа) выявленных аномальных значений можно сгруппировать: более 10 % случаев – это SO_4^{2+} (18,4%) и Ca^{2+} (10,7%); от 10 до 5% – это Cl^-, NO_{3-}, NH_4^+, Fe, ОВ (по ХПК), Mg^{2+}, HCO_3^-, Cu и менее 5 % – это Zn, Mn, НФПР и ЛОВ (по $БПК_5$).

В таблице 55 приведен перечень тех участков рек ЕЧР, для которых по одному или нескольким химическим веществам выявлены аномальные значения концентраций (гидрохимические аномалии). В тех случаях, когда для участка реки выявлена только одна гидрохимическая аномалия (по одному показателю) за многолетний период, может возникнуть вопрос об истинности данной аномалии. Не относится ли она к «ложной» гидрохимической аномалии и не может ли ее обнаружение быть причиной методических ошибок при отборе и анализе проб воды, при оценке фонового содержания данного вещества в природной зоне или ландшафте и т.п. [45]. Поэтому далее рассмотрены речные участки, в водной среде которых выявлены гидрохимические аномалии по четырем и более гидрохимическим показателям [179]:

Таблица 55 – Общая характеристика гидрогеохимических аномалий в воде участков рек различных природных зон ЕЧР (составлено по [179])

Река	Пункт	Аномальные показатели*	Характеристика аномалии	
			Коэффициент контрастности	Тип
ЗОНЫ ТУНДРЫ И ЛЕСОТУНДРЫ				
Териберка	60 км Серебрянской автодороги	Zn^{2+}**	1,7	антропогенная
Печенга	ст. Печенга	SO_4^{2-}	4,7	антропогенная
		NO_3^-	8,6	антропогенная
Печора	г. Нарьян-Мар	NO_3^-	4,3	Естественная
Уса	ст. Сейда	SO_4^{2-}	3,0	Естественная
Колва	с. Хорей-Вер	Zn^{2+}	2,8	*Мало данных*
Сула	д. Коткино	Cl^-	8,1	Естественная
		ХПК	1,7	Естественная
ЗОНА ТАЙГИ				
Кола	исток	SO_4^{2-}	3,6	антропогенная
Печенга	п. Корзуново	SO_4^{2-}	5,0	антропогенная
		NO_3^-	8,4	антропогенная
Ена	п. Ена	SO_4^{2-}	2,1	антропогенная
Нама-Йоки	пгт Луостари	SO_4^{2-}	4,6	антропогенная
		NO_3^-	8,8	антропогенная
		Cu^{2+}	1,5	антропогенная
Вирма	с. Ловозеро	ХПК	1,6	Естественная
		Fe	3,4	антропогенная
Колос-Йоки	пгт. Никель	SO_4^{2-}	3,4	Естественная
		ХПК	3,3	антропогенная
Можель	г. Ковдор	Mg^{2+}	9,2	антропогенная
		Ca^{2+}	5,8	антропогенная
		Cl^-	2,8	антропогенная
		SO_4^{2-}	22,8	антропогенная
		HCO_3^-	39,2	Естественная
		Mn^{2+}	22,2	Естественная
Поной	с. Краснощелье	Fe	2,8	антропогенная
Свирь	пгт. Свирица	Ca^{2+}	2,3	Естественная
		NO_3^-	8,3	Естественная
Кереть	автодорожный мост	$БПК_5$	5,0	антропогенная
Волчья	д. Варшко	SO_4^{2-}	4,7	Естественная
		NO_3^-	11,9	Естественная

Продолжение таблицы 55

Река	Пункт	Аномальные показатели*	Характеристика аномалии	
			Коэффициент контрастно-сти	Тип
Сухона	г. Сокол	NH_4^+	4,2	антропогенная
		Cu^{2+}	2,1	антропогенная
Емца	с. Сельцо	Mg^{2+}	2,5	Естественная
		Ca^{2+}	4,5	Естественная
		SO_4^{2-}	13,4	Естественная
Волошка	п. Волошка	SO_4^{2-}	6,3	Естественная
		ХПК	1,4	антропогенная
Вологда	г. Вологда	NO_3^-	11,4	Естественная
		Cu^{2+}	1,8	антропогенная
Сямжена	с. Сямжа	ХПК	1,5	Естественная
		NH_4^+	5,6	антропогенная
Сев.Двина	с. Усть-Пинега	SO_4^{2-}	3,0	Естественная
Мезень	с. Дорогорское	Fe	2,0	антропогенная
Пинега	с. Кулогоры	SO_4^{2-}	3,1	Естественная
	с. Усть-Пинега	SO_4^{2-}	4,7	Естественная
Кулой	д. Кулой	Mg^{2+}	2,5	Естественная
		Ca^{2+}	8,9	Естественная
		SO_4^{2-}	33,1	Естественная
		Zn^{2+}	2,6	антропогенная
Вычегда	г. Коряжма	SO_4^{2-}	2,2	антропогенная
Сухона	г. Тотьма	Cl^-	2,3	Естественная
		NH_4^+	5,5	антропогенная
Вага	г. Вельск	SO_4^{2-}	2,9	Естественная
	д. Глуборецкая	SO_4^{2-}	4,4	Естественная
Вымь	с. Весляна	Ca^{2+}	2,6	Естественная
		SO_4^{2-}	8,0	Естественная
Двиница	д. Котлакса	ХПК	1,6	Естественная
		Cu^{2+}	2,1	Естественная
Вишера	п. Рябинино	Cl^-	6,7	Естественная
Колва	г. Чердынь	Cl^-	7,9	Естественная
Ухта	г. Ухта	SO_4^{2-}	4,9	антропогенная
Ижма	г. Сосногорск	SO_4^{2-}	3,7	антропогенная
Илыч	п. Приуральск	Cu^{2+}	1,9	Естественная
Пижма	д. Боровая	Ca^{2+}	1,7	антропогенная
		HCO_3^-	1,7	антропогенная
Немда	с. Селище	Fe	4,3	антропогенная

Продолжение таблицы 55

Река	Пункт	Аномальные показатели*	Характеристика аномалии	
			Коэффициент контрастности	Тип
Керженец	с. Хахалы	Ca^{2+}	3,3	антропогенная
		$БПК_5$	3,3	антропогенная
		Zn^{2+}	2,7	антропогенная
Шача	г. Приволжск	Ca^{2+}	1,8	Естественная
		Cl^-	3,7	Естественная
Сунжа	с. Новописцово	Ca^{2+}	1,7	антропогенная
		Cl^-	5,5	Естественная
		NO_3^-	3,2	антропогенная
		Mn^{2+}	3,8	Естественная
Кама	г. Сарапул	Cl^-	4,4	антропогенная
Коса	с. Коса	Fe	4,2	антропогенная
Обва	п. Рождественск	NO_3^-	3,1	Естественная
Берсут	с. Урманчеево	Ca^{2+}	1,9	Естественная
		SO_4^{2-}	6,3	Естественная
		NH_4^+	1,9	антропогенная
		Cu^{2+}	2,3	Естественная
ЗОНА СМЕШАННЫХ И ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ				
Волхов	г. Кириши	Mg^{2+}	2,4	Естественная
		SO_4^{2-}	2,6	Естественная
Ловать	г. Великие Луки	НФПР	8,7	антропогенная
Луга	г. Луга	SO_4^{2-}	2,8	Естественная
		HCO_3^-	2,2	Естественная
		НФПР	5,2	антропогенная
		Mn^{2+}	4,1	Естественная
Оредеж	д. Моровино	Mg^{2+}	2,8	Естественная
		SO_4^{2-}	2,4	Естественная
		HCO_3^-	2,2	Естественная
		NO_3^-	3,2	антропогенная
		Mn^{2+}	5,2	антропогенная
Тихвинка	г. Тихвин	SO_4^{2-}	2,4	Естественная
Большая Вишера	пгт Большая Вишера	Fe	5,5	антропогенная
		Zn^{2+}	3,8	*Мало данных*
		ХПК	2,4	антропогенная
Кересть	г. Чудово	Zn^{2+}	4,6	*Мало данных*
		ХПК	2,4	антропогенная
Мга	п. Павлово	Fe	4,4	Естественная
		NH_4^+	3,5	Естественная
Кострома	г. Буй	SO_4^{2-}	2,3	антропогенная
Чагодоща	с. Мегрино	Fe	4,3	Естественная

Продолжение таблицы 55

Река	Пункт	Аномальные показатели*	Характеристика аномалии	
			Коэффициент контрастности	Тип
Дубна	п. Вербилки	NH_4^+	3,6	антропогенная
		Mn^{2+}	5,7	антропогенная
Сестра	с. Трехсвятское	Cl^-	4,5	Естественная
		$БПК_5$	2,2	Естественная
		NH_4^+	2,5	антропогенная
		NO_3^-	3,9	антропогенная
		Mn^{2+}	7,1	*Мало данных*
Волга	г. Ржев	HCO_3^-	2,0	Естественная
		ХПК	1,5	антропогенная
Воря	г.Красноармейск	NH_4^+	3,0	Естественная
Лопасня	г. Чехов	NH_4^+	2,3	антропогенная
Истья	с. Поповичи	SO_4^{2-}	2,4	антропогенная
Серая	д. Новинки	HCO_3^-	1,5	Естественная
Кунья	г. Краснозводск	$БПК_5$	1,5	антропогенная
		NH_4^+	3,1	антропогенная
Клязьма	г. Галицы	Cu^{2+}	1,7	Естественная
	г. Павловский Посад	NH_4^+	4,3	Естественная
		НФПР	2,6	антропогенная
Теша	д. Натальино	Mg^{2+}	2,4	антропогенная
		Ca^{2+}	2,1	антропогенная
		SO_4^{2-}	7,0	Естественная
		$БПК_5$	2,2	антропогенная
Пра	п. Брыкин Бор	Ca^{2+}	30,3	антропогенная
		NH_4^+	2,6	Естественная
		Fe общее	13,7	антропогенная
		Zn^{2+}	2,0	антропогенная
	с. Борисово	Ca^{2+}	3,3	антропогенная
		ХПК	2,4	антропогенная
		NH_4^+	3,1	антропогенная
		Fe общее	13,0	антропогенная
Бужа	д. Избище	Ca^{2+}	30,3	антропогенная
		HCO_3^-	5,0	антропогенная
		NH_4^+	3,8	Естественная
		Fe	12,3	антропогенная
Ока	г. Белев	ХПК	2,0	антропогенная
Упа	д. Кулешево	Ca^{2+}	1,5	Естественная
		SO_4^{2-}	3,7	антропогенная

Продолжение таблицы 55

Река	Пункт	Аномальные показатели*	Характеристика аномалии	
			Коэффициент контрастности	Тип
Осетр	д. Городня	$БПК_5$	1,5	антропогенная
		NH_4^+	2,5	антропогенная
		Cu^{2+}	2,2	антропогенная
		Zn^{2+}	4,3	антропогенная
Снежеть	г. Карачев	Mg^{2+}	2,5	Естественная
Сура	с. Порецкое	Fe	2,4	антропогенная
Пьяна	с. Камкино	Ca^{2+}	1,9	Естественная
Кудьма	г. Кстово	SO_4^{2-}	3,4	Естественная
Кубня	с. Чутеево	НФПР	8,2	Естественная
		Cu^{2+}	1,9	Естественная
Сундовик	д. Семово	Mg^{2+}	1,9	Естественная
ЗОНА ЛЕСОСТЕЙ				
Дон	г. Данков	NO_3^-	3,0	Естественная
Проня	пгт. Серебрянь	Zn^{2+}	3,6	Естественная
Упа	д. Орлово	Ca^{2+}	1,4	Естественная
Тихая Сосна	г. Алексеевка	Ca^{2+}	1,4	антропогенная
Нежеголь	г. Шебекино	HCO_3^-	1,4	антропогенная
Верда	г. Скопин	Ca^{2+}	2,9	антропогенная
		SO_4^{2-}	5,6	антропогенная
Воронка	д. Ясная Поляна	HCO_3^-	2,0	Естественная
Дон	г. Лиски	NO_3^-	5,1	антропогенная
Хопер	г. Балашов	Cl^-	2,8	антропогенная
Медведица	п. Лысые Горы	Cl^-	3,5	антропогенная
		ХПК	1,7	Естественная
		Fe	3,0	Естественная
		Mn^{2+}	3,2	*Мало данных*
Воронеж	г. Липецк	NO_3^-	5,7	Естественная
	с. Ст. Казинка	Fe	3,0	Естественная
Битюг	п. Анна	SO_4^{2-}	2,0	антропогенная
		HCO_3^-	1,5	антропогенная
Матыра	с. Крутое	NO_3^-	6,3	антропогенная
Карай	с. Подгорное	Cl^-	2,7	Естественная
		ХПК	1,7	Естественная
Становая Ряса	г. Чаплыгин	NO_3^-	7,3	антропогенная

Окончание таблицы 55

Река	Пункт	Аномальные показатели*	Характеристика аномалии	
			Коэффициент контрастности	Тип
Усмань	Воронежский заповедник	$БПК_5$	1,5	антропогенная
		НФПР	5,0	антропогенная
		Fe	2,5	Естественная
Свияга	г. Буинск	SO_4^{2-}	1,9	антропогенная
		НФПР	3,0	антропогенная
Инсар	г. Саранск	Mg^{2+}	2,0	Естественная
		НФПР	2,7	антропогенная
	г. Рузаевка	НФПР	2,6	антропогенная
Тешнярь	п. Сосновоборск	HCO_3^-	2,5	антропогенная
Большой Черемшан	пгт. Новочеремшанск	Cl^-	3,3	Естественная
		Cu^{2+}	5,0	Естественная
Падовая	г. Самара	NH_4^+	2,8	Естественная
Степной Зай	г. Альметьевск	Cl^-	4,8	антропогенная
		Mn^{2+}	3,6	*Мало данных*
ЗОНА СТЕПЕЙ				
Самара	г. Бузулук	NO_3^-	2,1	антропогенная
Большой Иргиз	г. Пугачев	Cl^-	2,4	антропогенная
		Cu^{2+}	5,0	антропогенная
		Mn^{2+}	4,0	*Мало данных*
Чапаевка	г. Чапаевск	Ca^{2+}	1,6	антропогенная
		Cl^-	4,0	антропогенная
Дон	с. Новая Калитва	NO_3^-	4,8	Естественная
	г. Волгодонск	Ca^{2+}	1,5	Естественная
Быстрая	х. Апанаскин	Mg^{2+}	1,7	антропогенная
		Cl^-	7,6	антропогенная
		SO_4^{2-}	3,8	антропогенная
Северский Донец	п. Усть-Донецкий	Mg^{2+}	2,1	антропогенная
		Ca^{2+}	2,0	антропогенная
		Cl^-	10,0	Естественная
		SO_4^{2-}	3,7	антропогенная
Кубань	г. Кропоткин	SO_4^{2-}	2,5	Естественная
	ст-ца Ладожская	SO_4^{2-}	2,9	Естественная

Примечания: * – желтый – слабые положительные аномалии; красный – уверенные положительные аномалии; зеленый – слабые отрицательные аномалии; ** Mg^{2+} - ионы магния; Ca^{2+} - ионы кальция; Cl^- - хлориды; SO_4^{2-} - сульфаты; HCO_3^- - гидрокарбонаты; NH_4^+ - азот аммонийный; NO_3^- - азот нитратный; $БПК_5$ – легкоокисляемые органические вещества (по $БПК_5$); ХПК – органические вещества (по ХПК); НФПР – нефтепродукты; Fe – соединения железа (Fe^{2+} + Fe^{3+}); Cu^{2+} – соединения меди; Zn^{2+} – соединения цинка; Mn^{2+} – соединения марганца.

- ***4 аномалии*** – Кулой, д. Кулой; Сунжа, с. Новописцово; Берсут, с. Урманчеево; Луга, г. Луга; Теша, с. Натальино; Пра, п. Брыкин Бор, с. Борисово; Бужа, д. Избище; Осетр, д. Городня; Медведица, п. Лысые Горы; Северский Донец, п. Усть-Донецкий;

- ***5 и более аномалий*** – Оредеж, д. Моровино; Сестра, с.Трехсвятское; Можель, г. Ковдор.

Для каждого речного участка с максимальным количеством гидрохимических аномалий рассмотрены факторы, непосредственно определяющие и влияющие на химический состав воды, способствующие формированию вод конкретного гидрохимического типа, геохимические и почвенно-геохимические особенности исследуемых территорий, а также наличие антропогенного воздействия.

Река Можель, г. Ковдор. Максимальное количество гидрохимических аномалий в воде данного речного участка (аномалии по магнию, кальцию, хлоридам, сульфатам, гидрокарбонатам и соединениям марганца) обусловлено в основном высокой антропогенной нагрузкой на водный объект [179]. Согласно литературным данным [8, 117, 166] в русле реки располагается хвостохранилище Ковдорского горно-обогатительного комбината (ГОК). Это «крупное, градообразующее предприятие Мурманской области, один из наиболее значительных в России производитель железорудного концентрата, второй по объёмам добычи производитель апатитового концентрата в России и единственный в мире производителя бадделеитового концентрата» [166, с. 67].

Основными источниками загрязнения являются сбросы с хвостохранилища, карьера и ТЭЦ. «Обводненные отходы - «хвосты» обогатительных фабрик занимают природные площади, хранение которых требует существенных капитальных затрат, создания специальных сооружений. Данный вид вторичного сырья можно отнести к техногенным месторождениям сложного минерального состава» [8, с.3]. «На территории Ковдорского района (юго-запад полуострова) складируются отходы обогащения, сформированные в результате переработки бадделеит-апатит-магнетитовых руд ОАО «Ковдорский ГОК» [8, с. 3].

Это хвостохранилище балочного типа является крупным техногенным намывным массивом. Одно из полей хвостохранилища образовано путем перегораживания долины и русла р. Можель с северной и восточной сторон дамбой длиной около 5,0 км. «Река Можель подвержена прямому воздействию хвостохранилища, куда сбрасывается примерно 11,0 млн. $м^3$ осветленной воды из вторичного отстойника хвостохранилища. В

фильтрационных водах зарегистрировано увеличение содержания нефтепродуктов, фосфора (в 2 раза), железа, марганца» [8, с. 4].

Река Сестра, с. Трехсвятское. Участок реки расположен в пределах редкоземельно-металлоидной ассоциации литофильно-халькофильного типа [84]. Некоторые геохимические особенности почв такие, как средняя проницаемость (легкие и средние покровные суглинки и лёссы), промывной водный режим, окислительный тип окислительно-восстановительного режима почв (pH в пределах 4,5-6,5), средняя емкость органо-минерального поверхностно- почвенного и высокая емкость сорбционно-седиментационного внутрипочвенного геохимических барьеров, умеренная интенсивность процессов латеральной миграции [168], отчасти объясняют наличие гидрохимических аномалий по содержанию хлоридов и соединений марганца [179]. Одной из причин выхода в категорию аномалий соединений азота (азота аммонийного и нитратов) и легко окисляемых органических веществ (по $БПК_5$) может являться несовершенство систем водоотведения, которые не обеспечивают сбор и эффективную очистку стоков [179, 248].

Река Оредеж, д. Моровино, река Луга, г. Луга. Большое число гидрохимических аномалий в воде данных участков рек в большей степени обусловлено природными, чем антропогенными факторами (аномалии по содержанию магния, сульфатов, гидрокарбонатов, соединений марганца и пр.) [179]. Нахождение исследуемых речных участков в пределах марганец-барий-полиметаллической ассоциации сидерофильно-литофильно-халькофильного типа [84] может объяснить выход в категорию гидрохимических аномалий медианных значений концентраций по сульфатам, гидрокарбонатам, магнию и марганцу. Этому могут способствовать и некоторые геохимические особенности почв, сформировавшихся на данной территории: проницаемость ниже средней (тяжелосуглинистые, плотные); окислительно-восстановительный режим; промывной, с периодическим грунтовым и/или поверхностным переувлажнением водный режим; средняя емкость органо-минерального поверхностно-почвеного и низкая емкостью глеевого и средней – сорбционно-седиментационного внутрипочвенных геохимических барьеров; низкая интенсивностью процессов латеральной миграции [168]. Помимо этого, согласно данным СКИОВО [251] характерной особенностью этих рек является повышенное грунтовое питание, которое они получают за счет карстовых вод Силурийского плато. Что касается аномалии техногенного происхождения на участке р. Луга по нефтепродуктам,

то такое техногенное загрязнение нефтепродуктами присутствует в ее среднем и нижнем течении на протяжении последних лет [179].

Река Пра (п. Брыкин Бор, с. Борисово). В воде реки Пра были выявлены аномалии по содержанию кальция, соединений железа и цинка, азоту аммонийному и органическим веществам (по ХПК) [179]. Расположение данных участков реки в пределах барий-свинец-марганцевой ассоциации литофильно-халькофильно-сидерфильного типа [84] отчасти может объяснить наличие здесь гидрогеохимических аномалий. Также этому могут способствовать и некоторые геохимические особенности почв, сформировавшихся на данной территории: почвенный покров – легкие и средние покровные суглинки и лёссы, имеющие среднюю проницаемость; периодически промывной водный режим; окислительный тип окислительно-восстановительного режима; средняя емкость органо-минерального поверхностно-почвенного и низкая емкостью сорбционно-седиментационного и карбонатного внутрипочвенных геохимических барьеров; слабая интенсивность процессов латеральной миграции [168]. Еще одной причиной может быть поступление растворенных в воде органических веществ из многочисленных осушительных канав, вырытых в Мещере [179].

Река Кулой, д. Кулой. Расположение участка реки в пределах геохимических фосфор-ванадий-титановой ассоциации литофильно-сидерофильного типа [84] может объяснить естественное происхождение гидрохимических аномалий по кальцию, магнию и сульфатам [179]. Также этому могут способствовать и некоторые геохимические особенности песчаных почв: очень высокая проницаемость; промывной водный режим почв; окислительный тип окислительно-восстановительного режима; средняя емкостью органического барьера, низкая емкостью органо-минерального поверхностно-почвенного и средней емкостью хемосорбционного внутрипочвенного геохимических барьеров [168]. Помимо этого, река Кулой относится к существенно модифицированным водным объектам, что обусловлено значительным загрязнением поверхностных вод вследствие антропогенной деятельности [179, 252].

Река Берсут, с. Урманчеево. Расположение участка реки в пределах геохимических серебро-медь-молибденовой ассоциации халькофильно-литофильного типа [84] частично объясняет попадание в категорию гидрохимических аномалий сульфатов и меди [179]. Также на формирование компонентного состава воды в реке могут влиять пермские отложения, представленные глинами и мергелями с обнажениями известня-

ков, доломитов и гипсов, являющихся карстующимися породами [185]. Помимо этого, формированию гидрохимических аномалий могут способствовать такие геохимические особенности почв, представленных легкими и средними покровными суглинками и лёссами, как: средняя проницаемость почв; водный режим – периодически промывной; окислительный тип окислительно- восстановительного режима с низкой емкостью сорбционно-седиментационного и карбонатного внутрипочвенных геохимических барьеров; слабая интенсивность процессов латеральной миграции [168].

Отнесение медианного значения концентрации азота аммонийного к гидрохимическим аномалиям антропогенного типа в р. Берсут обусловлено, в основном особенностями антропогенной деятельности [179]. Так, по данным исследований А.М. Никанорова с соавторами [148], среднемноголетний объем стока данного компонента более, чем в 30 раз превышает допустимый по ПДК сток. Антропогенная нагрузка на данном участке реки Берсут оценивается как «критическая», что может быть связано не только с особенностями водосборной территории, но и с поступлением в водный объект больших количеств органических веществ антропогенного происхождения в течение многих лет из-за отсутствия организованного сброса сточных вод в данной местности.

Река Сунжа, п. Новописцово. Расположение участка реки в пределах геохимической фосфорно-редкоземельной ассоциации литофильного типа [84] отчасти определило выход в категорию гидрохимических аномалий фоновых концентраций по хлоридам и марганцу [179]. Формированию гидрохимических аномалий могут способствовать геохимические особенности почв аналогичные участку реки Берсут (с. Урманчеево) – средняя проницаемость почв (легкие и средние покровные суглинки и лёссы); промывной водный режим; окислительный тип окислительно-восстановительного режима почв; средняя емкость органо-минерального поверхностно-почвенного и высокая емкость сорбционно-седиментационного внутрипочвенного геохимических барьеров; умеренная интенсивность процессов латеральной миграции [168]. Отнесение медианного значения концентрации азота нитратного к гидрохимической аномалии антропогенного типа может быть обусловлено диффузным загрязнением данного участка реки за счет отсутствия организованного сброса сточных вод [249].

Река Теша, д. Натальино. Расположение участка реки в пределах геохимической Mn-Ba-полиметаллической ассоциации сидерофильно-литофильно-халькофильного типа [84], а также тот факт, что в верховьях р. Теша протекает по району с выраженными

явлениями карста, определили выход в категорию гидрохимических аномалий сульфатов, ионов магния и кальция [179]. Антропогенный тип гидрохимической аномалии по содержанию в воде ЛОВ (по $БПК_5$) может быть связан с высокой плотностью населения в долине реки и поступлением значительного количества сточных вод, требующих дополнительной очистки [179].

Река Осетр, д. Городня. В бассейне реки присутствуют крупные недавно заброшенные известняковые карьеры неподалеку от деревни Городня возле устья Осетра [254]. Расположение участка реки в пределах геохимической барий-свинец-марганцевой ассоциации литофильно-халькофильно-сидерофильного типа [84] частично может объяснить выход в категорию гидрогеохимический аномалий соединений меди и цинка. Антропогенная деятельность и отсутствие организованного сброса сточных вод обуславливает наличие гидрохимических аномалий по содержанию азота аммонийного и ЛОВ (по $БПК_5$) [179].

Река Медведица, п. Лысые Горы. Попадание в категорию гидрохимических аномалий медианных значений концентраций хлоридов, органических веществ (по ХПК), соединений железа и марганца можно объяснить тем, что участок реки расположен в пределах геохимической щелочноземельной ассоциации литофильного типа [84] и тем, что в долину реки осуществляется разгрузка подземных вод (альбских водоносных горизонтов). Помимо этого отмечен вклад в загрязнение реки деятельности предприятий, расположенных на территории поселка, и, как следствие этого, формирование высоких концентраций ряда гидрохимических показателей до аномальных значений [179, 247].

Река Северский Донец, п. Усть-Донецкий. Расположение участка реки в пределах геохимической сурьма-ртутной ассоциации халькофильного типа [84] и дренаж аллювиальных почв с нейтральной или слабо щелочной средой с преимущественно окислительной почвенно-геохимической обстановкой [168] отчасти могли были бы объяснить формирование гидрохимических аномалий по содержанию в воде ионов магния, кальция, хлоридам и сульфатам естественного типа. Однако по нашим данным этого не происходит, кроме аномалии по хлоридам (см. таблицу 55). Антропогенный тип положительных аномалий в речной воде по содержанию ионов магния, кальция и сульфатам может быть обусловлен высокой антропогенной нагрузкой, ростом водопотребления в условиях маловодного периода в регионе, поступлением в реку недостаточно очищенных сточных вод (в том числе техногенных шахтных вод) [179].

Река Бужа, д. Избище. Попадание в категорию гидрохимических аномалий медианных значений концентраций кальция, гидрокарбонатов, соединений железа и азота аммонийного можно объяснить тем, что река в основном протекает по заболоченной территории, покрытой сосново-берёзовыми лесами. В питании реки значительную роль играют болота, ее берега часто заболочены и оторфованы [265]. В качестве причины возникновения отрицательных аномалий по кальцию и гидрокарбонатам может быть обусловлено геохимическими особенностями почв: очень высокой их проницаемостью и промывным типом водного режима [168]. Дополнительно на естественный процесс формирования гидрохимических аномалий оказывает влияние последствия антропогенной деятельности – поступление недостаточно очищенных сточных вод жилищно-коммунального хозяйства, отсутствие организованного сброса сточных вод, и, как следствие этого – периодическое ухудшение качества воды до категории «очень грязной» [265].

Среди тех участков рек ЕЧР, где были выявлены гидрохимические аномалии, наибольшее их количество имеет всего одно аномальное значение концентрации (52 % - 59 участков рек) или по две аномалии в содержании химических веществ (29 % - на 33-х участках рек) (рисунок 40).

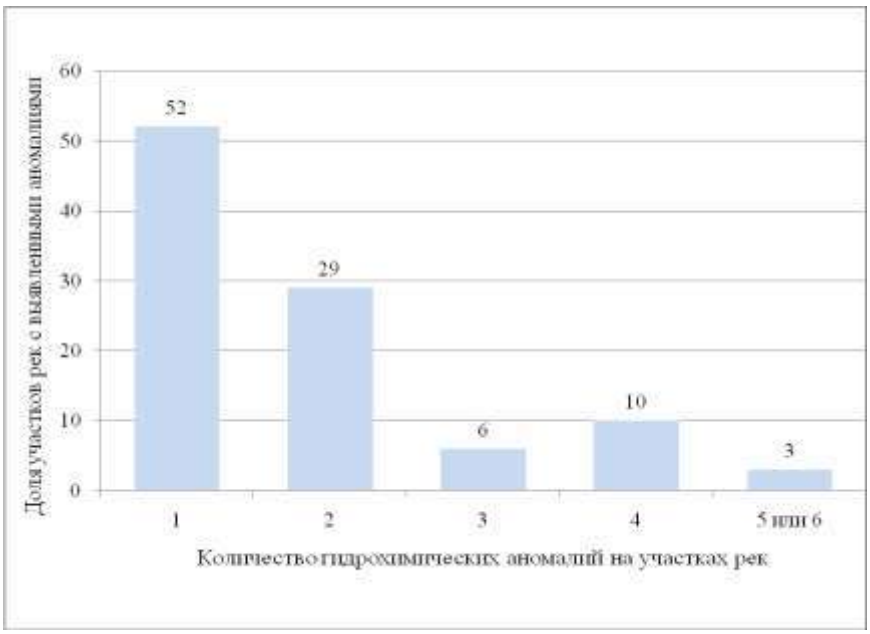


Рисунок 40 – Распределение участков рек на ЕЧР с различным числом гидрохимических аномалий

Установлено, что по своему происхождению в речных водах ЕЧР незначительно преобладают гидрохимические аномалии антропогенного типа – 53 % [179].

Пространственное распределение по природным зонам выделенных гидрохимических аномалий в речных водах ЕЧР представлено на рисунке 41. Дифференциация гидрохимических аномалий естественного или антропогенного генезиса продемонстрирована на рисунке 42.

Наибольшее количество гидрохимических аномалий (в абсолютных значениях) сформировалось в речных водах зоны тайги (75) и зоны смешанных и широколиственных лесов (70). С учетом того, что по площади зона тайги превосходит
зону смешанных и широколиственных лесов на карте визуально выше плотность распределения гидрохимических аномалий в последней (рисунок 41). Географически можно выделить районы в пределах ЕЧР с наибольшим «скоплением» гидрохимических аномалий – это западная часть центрального района ЕЧР (западная часть зоны смешанных и широколиственных лесов и зоны лесостепей).



Рисунок 41 – Пространственное распределение гидрохимических аномалий на участках рек на ЕЧР по природным зонам (составлено автором)

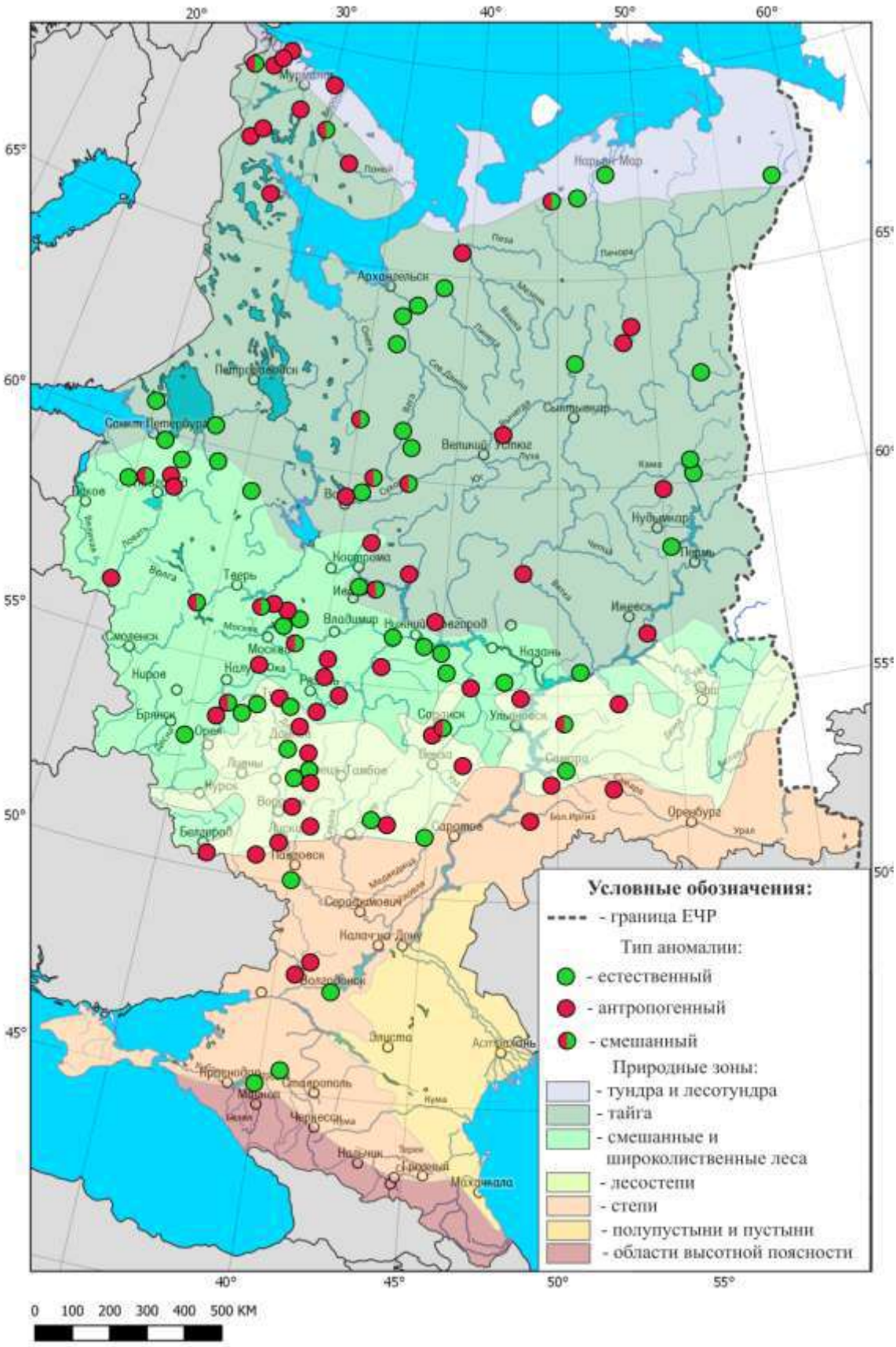


Рисунок 42 – Пространственное распределение гидрохимических аномалий естественного и антропогенного типов на по природным зонам ЕЧР (составлено автором)

Если рассчитать условные площади природных зон ЕЧР по площадям ФГП, включенных в исследование и входящих в границы определенных природных зон (см. таблицу А. 1, Приложение 1), то можно провести расчет «плотности гидрохимических аномалий» в речных водах ЕЧР. Результаты такой удельной оценки представлены в таблице 56. Наименьшая «плотность гидрохимических аномалий» в речных водах отмечена в зонах тундры, лесотундры и тайги (0,050-0,055 ед./тыс.км^2), а наибольшая – в зоне смешанных и широколиственных лесов (0,092 ед./тыс. км^2). Если же рассмотреть лесостепную и степную зоны отдельно, то в зоне лесостепей данный показатель (0,088 ед./тыс. км^2) сопоставим с таковым для зоны смешанных и широколиственных лесов, что четко прослеживается на картосхеме (см. рисунки 41 и 42).

Таблица 56 – Условное удельное (на тыс. км^2) распределение гидрохимических аномалий в природных зонах ЕЧР

Природные зоны	Количество		Условная площадь зон/зоны, тыс. км^2	Плотность ГХА, ед./тыс. км^2
	ФГП	ГХА		
Зоны тундры и лесотундры	2	8	158,7	**0,050**
Зона тайги	10	75	1360,9	**0,055**
Зона смешанных и широколиственных лесов	7	70	758,8	**0,092**
Зоны лесостепей и степей	11	53	798,8	**0,066**
Зона лесостепей	4	36	407,4	**0,088**
Зона степей	7	17	391,3	**0,043**
Примечание: ФГП – физико-географическая провинция; ГХА – гидрохимическая аномалия.				

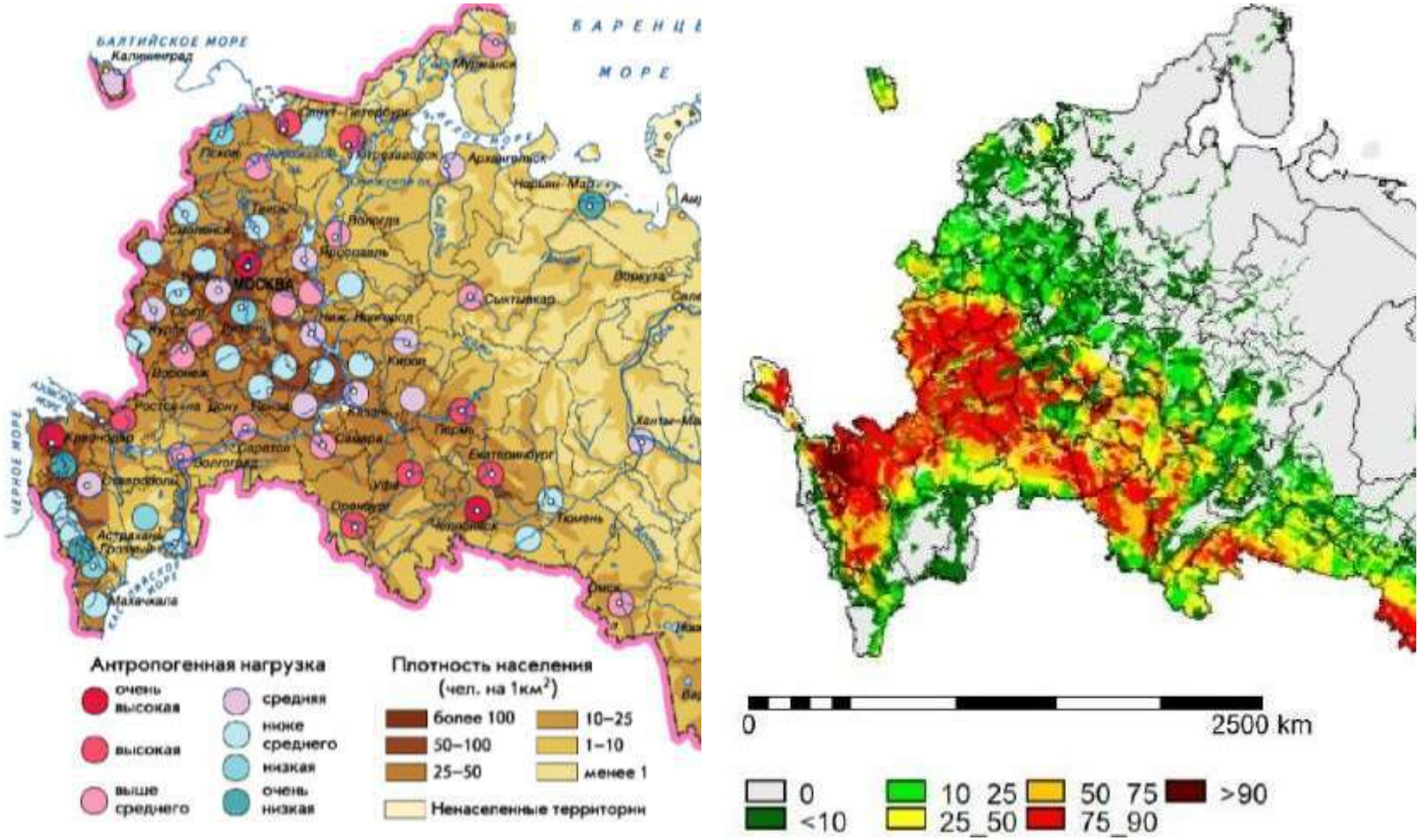
В пространственном распределении гидрохимических аномалий природного (естественного генезиса) или антропогенного типов выделяются территория Кольского полуострова с преобладанием аномалий антропогенного типа, бассейн реки Северная Двина и реки Карелии с формированием аномалий преимущественно естественного типа (рисунок 42).

Анализ распределения гидрохимических аномалий естественного или антропогенного генезиса в речных водах ЕЧР показал, что при движении с севера на юг возрастает доля участков рек с антропогенными аномалиями и снижается – с естественными (таблица 57). Это в первую очередь связано с ростом антропогенной нагрузки на ландшафты при движении с севера на юг, с увеличением степени освоенности территорий, степенью распаханности и возрастанием демографической нагрузки (рисунок 43).

Таблица 57 – Зональное распределение гидрохимических аномалий по природным зонам ЕЧР (доля, %)

Природная зона (зоны)	Естественные «аномалии»	Антропогенные «аномалии»
Лесотундра и тундра	57	43
Тайга	51	49
Зона смешанных и широколиственных лесов	43	57
Лесостепи и степи	40	60

По данным работы И.Ю. Савина и др. [230] степень распаханности территорий на юге европейской части России достигает 70 % и более, что соответственно негативно сказывается не только на устойчивости ландшафтов к внешнему воздействию, но и на качестве поверхностных вод за счет усиления процессов водной эрозии. При этом также в центральных и южных районах возрастает общая антропогенная нагрузка и плотность населения [133].



А – Фрагмент карты из [133]

Б – Фрагмент карты из [230]

Рисунок 43 – Картосхемы распределения антропогенной нагрузки и плотности населения (А) и степени распаханности (Б) ЕЧР

Основными причинами, факторами формирования естественных гидрохимических аномалий являются региональные процессы, такие как развитие карста за счет процессов химической денудации горных пород, наличие болотных вод, влияние морских вод на устьевых участках рек, усиление процессов выветривания доломитов и др. легкорастворимых минералов, возрастание на юге аридности климата и засоления почв за счет климатических изменений (таблица 58).

Таблица 58 – Характеристика гидрохимических аномалий природного и антропогенного типов в воде участков рек различных природных зон ЕЧР

Природная зона (зоны)	Река – пункт	Аномальные показатели	Источник (причина)
Гидрохимические аномалии природного характера			
Лесотундра и тундра	Уса – ст. Сейда Сула – д. Коткино	Сульфаты ОВ (ХПК)	Развитие карста (химическая денудация). Болотные воды.
Тайга	Сев. Двина – устье Кулой – д. Кулой	Сульфаты Сульфаты	Влияние морских вод. Развитие карста (химическая денудация).
Зона смешанных и широколиственных лесов	Упа – д. Кулешево, Сундовик – д.Семово Луга – г. Луга	Кальций Магний Сульфаты	Выветривание доломитов. Развитие карста (химическая денудация).
Лесостепи и степи	Карай – с. Подгорное, Северский Донец - устье	Хлориды Хлориды и сульфаты	Рост аридности климата, засоления почв
Гидрохимические аномалии природного характера			
Лесотундра и тундра	Печенга – ст. Печенга	сульфаты, нитраты	Сточные воды ОАО «ГМК Печенганикель»
Тайга	Сухона – г. Сокол	Аммоний, ОВ (ХПК), соединения меди	АО «Сокольский ЦБК», Сухонский ЦБЗ (сточные воды целлюлозно-бумажной промышленностити)
Зона смешан-	Оредеж –	нитраты, со-	Птицефабрики «Русско-

Природная зона (зоны)	Река – пункт	Аномальные показатели	Источник (причина)
ных и широколиственных лесов	д. Моровино Дубна – п. Вербилки	единения Mn соединения Mn	Высоцкое», АО «Скворицы» и др. Предприятия оборонного комплекса, «Дубненский машиностроительный завод»
Лесостепи и степи	Инсар – г. Саранск Большой Иргиз – г. Пугачев	нефтепродукты соединения меди	ПО «Резинтехника», комбинат «Биохимик», ЖКХ ООО «ЭлПМаш», ОАО «Полимерсервис», СТО АО «Пугачев-Лада»

В отдельных случаях источником аномального содержания металлов (микроэлементов) могут быть притоки, обогащенные ионами металла. Так, например, в бассейне реки Баксан выявлено проявление стронциевой аномалии за счет впадения вод притока р. Кенделен, в химическом составе которых содержание стронция в 20 раз превосходило его содержание в других притоках и в самом Баксане [188]. В других – преобладание подземного питания или геологические особенности территории, в пределах которой формируется химический состав речных вод, особенно в верховьях рек [186, 187].

Формирование гидрохимических аномалий может происходить и в районах слабо затронутых хозяйственной деятельностью человека. Водные потоки высокогорной зоны Центрального Кавказа, сформированные на склонах Эльбруса, имеют аномальное содержание целого ряда элементов As, F, Li, Mn, Mo, Cl, Na и K, что по мнению авторов [189] происходит за счет влияния подземных вод и вулканической деятельности в регионе.

Основными причинами формирования антропогенных гидрохимических аномалий (таблица 58) является наличие постоянно действующих источников загрязнения речных вод сточными водами – это предприятия химической, горнодобывающей, целлюлозно-бумажной промышленности, машиностроения и др.

Отдельные реки Мурманской области (особенно бассейн реки Печенга, р. Кола и др.) испытывают значительное воздействие от сточных вод предприятий горнодобывающей, горнообрабатывающей и металлургической промышленности. По данным исследований различных организаций [62, 122, 306] в воде рек Мурманской области ежегодно фиксируются десятки случаев высокого и экстремально высокого уровней загряз-

нения воды и чаще всего это связано с высоким содержанием в речной воде соединений молибдена, меди, никеля, марганца, ртути, дитиофосфата крезилового, органических веществ (по $БПК_5$), аммонийного и нитритного азота, сульфатов. Такое постоянное превышение содержания химических веществ в воде может способствовать формированию устойчивых и контрастных гидрохимических аномалий антропогенного типа.

7.3 Пространственная изменчивость состояния речных вод ЕЧР по гидрохимическим показателям

Протекающие на водосборах геохимические процессы формирования качества воды в целом будут во многом зависеть от состояния водной среды рек. Этот абиотический компонент речной системы влияет на живые организмы водных экосистем, поскольку представляет собой среду их обитания. В общем смысле к абиотическому компоненту любого речного участка относятся химические соединения (сама вода, взвешенные и растворённые в ней вещества) и физико-химические параметры водной среды (температура, pH, Eh, потоки энергии, в том числе тепловое воздействие) [193].

Для любых водных объектов абиотический компонент будет определять важнейшие процессы, от которых в дальнейшем зависит функционирование экосистемы (например, гидрохимический режим реки, гидрологический и климатический режимы, химический состав водоёма и др.). Поэтому с точки зрения комплексной оценки качества воды и состояния водного объекта (реки, участка реки и т.п.) очень важным является оценка состояния водной среды по гидрохимическим показателям [193].

В предшествующих глава представлено пространственное распределение речных участков с разными категориями состояния абиотического компонента речных вод внутри физико-географических провинций и природных зон. Категории состояния водной среды на участках рек приведены в Приложении Б. Обобщение данных по изменчивости состояния абиотического компонента речных вод ЕЧР представлено в таблицах 59 и 60. Выявлены отличия в категориях состояния водной среды рек ЕЧР по интегральным гидрохимическим показателям.

Состояние большинства речных вод ЕЧР по содержанию ЛОВ (по $БПК_5$) оценивается как «равновесное» или переходное в «равновесное» состояние в зонах тундры и лесотундры (44,5 %) и тайги (42,0 %), «напряженное» или переходное в «напряженное»

в зоне смешанных и широколиственных лесов (57,3 %) и в зонах лесостепей и степей (70,0 %). Таким образом, происходит ухудшение состояния водной среды рек при движении с севера на юг (таблица 59).

Состояние водной среды рек ЕЧР по содержанию азота аммонийного более благополучно и стабильно (таблица 60). Во всех природных зонах преобладают участки рек в «равновесном» состоянии, причем их доля возрастает с севера на юг (от 55,5 % до 74,0 %). В зонах тундры и лесотундры, тайги значима доля участков рек, находящихся в «естественном» состоянии (44,5 и 30,0 % соответственно), а в зоне смешанных и широколиственных лесов и в зонах лесостепей и степей значима доля участков рек в переходном состоянии из «равновесного» в «напряженное» или «критическое» (29,3 и 24,6% соответственно).

Таблица 59 – Распределение в различных природных зонах ЕЧР (доля, %) участков рек по категориям состояния водной среды по содержанию ЛОВ

Зона (зоны)	Категория состояния			
	естественное	равновесное или переходное в равновесное	напряженное или переходное в напряженное	критическое или переходное в критическое
Тундра и лесотундра	22,2	**44,5**	33,3	–
Тайга	17,2	**41,9**	38,7	2,2
Зона смешанных и широколиственных лесов	3,7	31,7	**57,3**	7,3
Лесостепи и степи	–	13,7	**70,0**	16,3

Таблица 60 – Распределение в различных природных зонах ЕЧР (доля, %) участков рек по категориям состояния водной среды по содержанию азота аммонийного

Зона (зоны)	Категория состояния		
	естественное	равновесное или переходное в равновесное	переходное в напряженное или критическое
Тундра и лесотундра	44,5	**55,5**	–
Тайга	30,0	**67,0**	3,0
Зона смешанных и широколиственных лесов	19,5	**51,2**	29,3
Лесостепи и степи	1,4	**74,0**	24,6

Таким образом, существует зональная закономерность в изменении состояния абиотического компонента участков рек разных природных зон ЕЧР по содержанию азота аммонийного выражающаяся в возрастании их количества в переходных состояниях, что согласуется с гидрохимической зональностью, когда в речных водах более южных территорий возрастает содержание главных ионов, органических и биогенных веществ.

7.4 Комплексная оценка качества речных вод и состояния участков рек ЕЧР (на примере Кольского полуострова и Нижнего Дона)

Методические подходы к проведению комплексной балльной оценки качества воды и состояния участков рек

Выделение одного приоритетного показателя состояния водных объектов, участков рек и т.п. (гидрохимического, гидробиологического или токсикологического), по которому в конечном итоге будет проводить итоговая интегральная оценка (как это делается при биологических оценках – итоговая оценка делается по наихудшему результату) не вполне корректно и может привести к тому, что становится ненужно оценка состояния объекта по остальным показателям. Поэтому для учета влияния всех показателей в совокупности предлагается проводить комплексную оценку качества воды и стояния участков рек по совокупности показателей с использованием балльного подхода.

Итак, при оценке качества воды и состояния водной среды участков рек по гидрохимическим показателям у нас может получиться разная «комбинация состояний»: «естественное – естественное», «естественное – равновесное», «равновесное – равновесное» …. и т.д. до самого экстремального – «катастрофическое – катастрофическое». Присвоив каждому состоянию определенный балл от 1 («естественное») до 5 («катастрофическое»), мы можем посчитать средний балл по состоянию участка реки по гидрохимическим показателям. Соответственно этот средний балл будет также меняться от 1 до 5 и чем больше балл, тем более нестабильное состояние участка реки (по гидрохимическим показателям).

Аналогично поступаем и при оценке состояния водных экосистем по гидробиологическим показателям. Оценка проводится по 5-ти информативным показателям развития планктонных и бентосных сообществ. Состоянию «экологического благополучия» (1 класс качества воды) присваивается 1 балл, а состоянию «метаболического регресса» - 5 баллов. Соответственно при оценке состояния по тому набору показателей, который есть в распоряжение у исследователя, рассчитывается средний балл по состоянию экосистемы по гидробиологическим показателям. Соответственно этот средний балл будет также меняться от 1 до 5 и чем больше балл, тем более экологически неблагоприятным будет состояние водной экосистемы (по гидробиологическим показателям).

Аналогично можно ввести оценку состояния водной среды речного участка по токсикологическим или геохимическим показателям (состояние донных отложений). В итоге находится общий средний балл состояния, по которому и дается характеристика: 1 балл – естественное, 2 балла – равновесное, 3 балла – напряженное, 4 балла – критическое и 5 баллов – катастрофическое состояние.

Комплексная балльная оценка качества воды и состояния участков рек Кольского полуострова

На территории Кольского Севера в рамках государственного мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды проводятся регулярные гидрохимические и гидробиологические наблюдения, по результатам которого можно провести комплексную оценку качества воды и состояния участков рек по гидрохимическим и гидробиологическим показателям. Для реализации предлагаемой концептуальной схемы (алгоритма) оценки (представленной в разделе 2.3) выбрано большее количество участков рек,

нежели представлено в первых главах диссертации при оценке изменчивости химического состава и качества воды. Речные участки Кольского Севера распределены по трем природным зонам, охватывающим Кольский полуостров: узкие зоны тундры и лесотундры объединены в одну условную зону и вторая зона – зона тайги.

На первом этапе проведена оценка качества воды и состояния водной среды участков рек по гидрохимическим показателям и их классификация по градациям на «естественное», «равновесное» или переходное состояние (таблица 61).

Таблица 61 – Балльная оценка качества воды и состояния участков рек Кольского полуострова по гидрохимическим показателям

Река	Пункт наблюдений	Условный балл по показателю		Средний балл	Состояние водной среды (класс качества воды)
		ЛОВ, мг/дм^3 O_2	аммонийного азота, мг/дм^3		
Зоны тундры и лесотундры					
Ура	с. Ура-Губа	1	1	1	естественное (I)
Печенга	ст. Печенга	2	1	1,5	*переходное**
Лотта	устье	1	1	1	естественное (I)
Териберка	60 км Серебр. а/д	1	1	1	естественное (I)
Патсойоки	Борисоглебская ГЭС	1	1	1	естественное (I)
	пгт Кайтакоски	1	1	1	естественное (I)
Зона тайги					
Можель	г.Ковдор	2	2	2	равновесное (II)
Вува	устье	1	1	1	естественное (I)
Нота	устье	1	1	1	естественное (I)
Вите	устье	2	1	1,5	*переходное**
Нива	г. Кандалакша	2	1	1,5	*переходное**
Ена	п. Ена	2	2	2	равновесное (II)
Ковдора	г. Ковдор	2	2	2	равновесное (II)
Примечание: *переходное состояние из «естественного» в «равновесное»					

Обобщенная оценка (по совокупности двух гидрохимических показателей) показала, что состояние большинства изученных участков рек Кольского полуострова характеризуется как «естественное» (I-й класс качества, «условно чистая» вода) по интегральным гидрохимическим показателям. В равновесном состоянии (II-й класс качества – «слабо загрязненная» водная среда) находятся участки рек Ковдор и Можжель в районе г. Ковдор, Ена (п. Ена) и в переходном из «естественного» в «равновесное» – участки рек Печенга, Вите и Нива.

На втором этапе проведена оценка состояния речных экосистем Кольского Севера по гидробиологическим показателям и классификация состояния по градациям на «равновесное», «напряженное» или переходное состояние (таблица 62). Обобщенная оценка (по совокупности гидробиологических показателей) показала, что состояние большинства изученных участков рек в зонах тундры и лесотундры характеризуется как «напряженное» (III-й класс качества – «загрязненная» водная среда), а в зоне тайги – как «равновесное» или переходное состояние (II-й класс качества – «слабо загрязненная» вода).

Такое различие в качестве речных вод обусловлено более суровыми природно-климатическими условиями функционирования биоценозов в речных водах, расположенных в зонах тундры и лесотундры. За счет низких температур воды, низкого содержания питательных веществ сформированы менее благоприятные условия для развития биоценозов в тундровых ландшафтах, что и обусловливает меньшее видовое разнообразие сообществ водных организмов (т.е. состояние с «элементами экологического регресса») [145, 155].

На третьем этапе комплексной оценки проведено обобщение результатов и оценка состояния участков рек Кольского полуострова по комплексу гидрохимических и гидробиологических показателей. Результаты итоговой балльной оценки представлены в таблице 63.

Таблица 62 – Балльная оценка качества воды и состояния участков рек Кольского полуострова по совокупности гидробиологических показателей

Река	Пункт наблюдений	Условный балл по показателю					Средний балл	Состояние участка реки (класс качества воды)
		численность бактерио-планктона общая млн. кл/дм^3	фитопланктона		макрозообентоса			
			числен-ность, тыс. кл/дм^3	число видов	Числен-ность, тыс. экз/м^2	доля олиго-хет, %		
Зоны тундры и лесотундры								
Ура	с. Ура-Губа	II	IV	IV	IV	II	3,2	напряженное (III ККВ)
Печенга	ст. Печенга	II	III	III	III	IV	3,0	напряженное (III ККВ)
Лотта	устье	II	IV	IV	II	II	2,8	напряженное (III ККВ)
Териберка	60 км Серебр. а/д	II	III	III	II	II	2,4	равновесное (II ККВ)
Патсо-йоки	Борисоглебская ГЭС	II	III	IV	II	II	2,6	*переходное**
	пгт Кайта-коски	II	IV	IV	II	II	2,8	напряженное (III ККВ)
Зона тайги								
Можель	г.Ковдор	II	III	IV	II	IV	3,0	напряженное (III ККВ)
Вува	устье	II	IV	III	II	II	2,6	*переходное**
Нота	устье	II	IV	III	II	II	2,6	*переходное**
Вите	устье	II	IV	IV	II	II	2,8	напряженное (III ККВ)
Нива	г. Кандалакша	II	III	III	II	II	2,4	равновесное (II ККВ)
Ена	п. Ена	II	III	III	II	II	2,4	равновесное (II ККВ)
Ковдора	г. Ковдор	II	IV	IV	II	II	2,8	напряженное (III ККВ)
Примечание: *переходное состояние из равновесного в напряженное (средний балл около 2,5).								

Таблица 63 – Итоговая балльная оценка качества речных вод и состояния участков рек Кольского полуострова по комплексу показателей

Река	Пункт наблюдений	Средний балл по показателям		Общий средний балл	Состояние (класс качества воды)
		гидрохимическим	гидробиологическим		
Зоны тундры и лесотундры					
Ура	с. Ура-Губа	1	3,2	2,1	равновесное (II)
Печенга	ст. Печенга	1,5	3,0	2,25	равновесное (II)
Лотта	устье	1	2,8	1,9	равновесное (II)
Териберка	60 км Серебрянской автодороги	1	2,4	1,6	*переходное**
Патсо-йоки	Борисоглебская ГЭС	1	2,6	1,8	равновесное (II)
	пгт Кайтакоски	1	2,8	1,9	равновесное (II)
Зона тайги					
Можель	г. Ковдор	2	3,0	2,5	*переходное***
Вува	устье	1	2,6	1,8	равновесное (II)
Нота	устье	1	2,6	1,8	равновесное (II)
Вите	устье	1,5	2,8	2,15	равновесное (II)
Нива	г. Кандалакша	1,5	2,4	1,95	равновесное (II)
Ена	п. Ена	2	2,4	2,2	равновесное (II)
Ковдора	г. Ковдор	2	2,8	2,4	*переходное***
Примечания: *переходное состояние из «естественного» в «равновесное» (средний балл около 1,5) – качество воды I–II класс; **переходное состояние из «равновесного» в «напряженное» (средний балл около 2,5) – качество воды II–III класс.					

Как видно из данных таблицы 63, состояние большинства исследуемых участков рек Кольского Севера по комплексу показателей характеризуется как «равновесное» (в 83 % случаях в зонах тундры и лесотундры и в 71 % случаях в зоне тайги). С экологической точки зрения наиболее неблагоприятная ситуация сложилась на участках рек Можжель и Ковдор в районе города Ковдор.

Комплексная балльная оценка состояния речных участков в бассейне Нижнего Дона по геохимическим и экотоксикологическим показателям

В системе контроля качества окружающей среды достаточно мало внимания уделяется состоянию донных отложений водных объектов. По геохимическим данным может быть оценен риск загрязнения водной среды [297]. В предлагаемой нами схеме комплексной оценки качества воды и состояния участка реки включены результаты геохимической оценки уровня загрязненности донных отложений тяжелыми металлами (типоморфными элементами).

Как отмечено в многочисленных работах [33, 75, 106, 124, 135, 268, 308 и др.] при оценке качества воды и состояния водных объектов возникает ряд сложностей, и главным их них является несовершенство системы оценки в части нормативов ПДК. Для устранения недостатков ПДК «предлагается использовать региональный фон и комплексный подход к оценке качества речных вод» [75, с. 452], разработанный на примере притоков Северского Донца и Тузлова (бассейн Нижнего Дона, территория Восточного Донбасса Ростовской области). Подход основан «на использовании таких критериев оценки, как уровень загрязнения воды (по суммарному показателю загрязнения Zc относительно фона) и степень токсичности воды по трем биотестам. Оценить токсическое загрязнение водных экосистем каким-либо одним из известных методических подходов (физико-химический, биологический) не представляется возможным, поскольку для получения адекватной картины необходимо изучить не только состояние гидробиоты, но и определить качество среды её обитания, т.е. качество воды, одной из характеристик которой является токсичность [12]» [75, с. 452].

Как отмечается в работе В.Е. Закруткина с соавторами [75] «важнейшим этапом в изучении качества речных вод и состояния экосистем с учетом региональных особенностей является установление для них фоновых значений гидрохимических показателей. Решение этой задачи часто сопряжено с определенными трудностями, в первую очередь – с выбором водных объектов для характеристики фона. Последние должны располагаться за пределами влияния источников загрязнения и формировать химический состав воды в аналогичных природных условиях, что и исследуемые реки. В соответствии с этими критериями пробы воды в бассейнах Тузлова и Северского Донца для оценки фоновых характеристик отбирались либо в верховьях малых рек, либо на их притоках, но в

любом случае выше зоны возможного влияния антропогенных источников (в первую очередь объектов угольной промышленности)» [75, с. 454].

Для двух основных притоков Нижнего Дона фоновые концентрации отдельных ионов и микроэлементов представлены в таблице 64. В рамках гранта РНФ нами были выбраны фоновые участки в бассейнах рек, отобраны пробы воды и по данным аналитических определений установлены фоновые концентрации.

Таблица 64 – Фоновые концентрации химических веществ для речных вод Восточного Донбасса [75, 77]

Фоновые концентрации по макрокомпонентам, мг/дм^3						
Na^++K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	минерализация	железо
Бассейн Северского Донца						
129	151	30	203	361	1112	0,25
Бассейн Тузлова						
242	149	71	30	982	1983	0,26
Фоновые концентрации по микрокомпонентам, мг/дм^3						
Al	Be	Cd	Li	Mn	Cu	Sr
Бассейн Северского Донца						
0,14	0,0003	0,0003	0,015	0,13	0,002	1,35
Бассейн Тузлова						
0,22	0,0007	0,0004	0,020	0,04	0,002	2,31

Для водосбора «Северского Донца фон рассчитан по данным двух фоновых участков – р. Калитва (выше устья балки Обливинской у хут. Рудаков) и р. Быстрая (северная окраина хут. Карпово-Обрывский), для бассейна Тузлова – р. Большой Несветай (выше выхода шахтных вод ш. «Соколовская», северная окраина хут. Черников)» [75, с. 454].

Проведена оценка уровня загрязненности донных отложений по широко известному суммарному показателю загрязнения (Zc) [273] (формула для расчета приведена в разделе 2.3), а также рассчитан суммарный показатель загрязнения речных вод (Zc вода) по отношению к фоновым характеристикам, при этом за основу взят аналогичный принцип оценки Zc для почв и донных отложений [229, 273].

Классификация рек бассейнов Северского Донца и Тузлова по уровню загрязненности донных отложений по Zc приведена в таблице 65. В целом для территории

Нижнего Дона состояние донных отложений рек характеризуется слабым или средним уровнем загрязнения.

Таблица 65 – Группировка участков рек Нижнего Дона по уровню загрязненности донных отложений [206]

Значение Zc	Участки рек	Уровень загрязненности
Бассейн Северского Донца		
До 10	«Фоновые участки» рек Быстрая и Калитва. Участки рек Малая и Большая Каменка, Лихая и Кундрючья	слабый
14,63	Участки реки Большая Гнилуша	средний
Бассейн Тузлова		
До 10	Участки рек Большой и Малый Несветай	слабый
10-20	Участки рек Грушевка, Атюхта, Аюта и Кадамовка	средний

Результаты расчета Zc воды позволили сгруппировать исследуемые реки в бассейнах Северского Донца и Тузлова по уровню загрязнения водной среды (по отношению к фоновым параметрам). Результаты группировки представлены в таблице 66. Полученная классификация рек вполне согласуется с ранее полученными данными об особенностях и различиях в химическом составе воды двух бассейнов и качестве речных вод [77].

Оценка степени токсичности воды и донных отложений исследуемых рек двух бассейнов Северского Донца и Тузлова проведена д.б.н. Е.Н. Бакаевой в рамках гранта РНФ № 14-17-00376, выполненного сотрудниками кафедры геоэкологии и прикладной геохимии Южного федерального университета в период 2014-2016 гг. Результаты оценки степени токсичности воды и донных отложений исследуемых рек, используемые далее в комплексной оценке, опубликованы в коллективной монографии [77], посвященной результатам реализации гранта РНФ.

Таблица 66 – Группировка участков рек Нижнего Дона по уровню загрязненности воды [75, с. 455]

Значение Zc	Участки рек	Уровень загрязненности
Бассейн Северского Донца		
До 10	«Фоновые участки» рек Быстрая и Калитва. Участки рек Малая Каменка	Слабый
10-20	Участки рек Большая Каменка, Лихая	Средний
Более 30	Участки рек Большая Гнилуша и Кундрючья	Высокий
Бассейн Тузлова		
До 10	«Фоновый участок» реки Большой Несветай.	Слабый
10-30	Участки рек Грушевка, Кадамовка	Средний
30-50	Участки рек Аюта, Кадамовка и Малый Несветай	Высокий
Более 50	Участки рек Кадамовка и Атюхта	Очень высокий

Для участков рек степной зоны – на примере рек бассейна Нижнего Дона (притоков Северского Донца и Тузлова) выполнена комплексная оценка качества воды и состояния водной среды участков рек по совокупности геохимических и экотоксикологических показателей по предлагаемой концептуальной схеме (алгоритму), приведенной в разделе 2.3.

Проведена балльная покомпонентная оценка уровня загрязненности воды и донных отложений относительно фоновых характеристик, оценка степени токсичности донных отложений и рассчитан средний балл. Результаты итоговой комплексной оценки состояния и качества речных вод по степени загрязненности и токсичности воды рек бассейна Нижнего Дона представлены в таблице 67. Оценка уровней загрязненности речных вод и донных отложений по отношению к фоновым характеристикам показала, что уровень загрязненности воды несколько выше, чем донных отложений.

Таблица 67 – Итоговая комплексная оценка состояния и качества речных вод по степени загрязненности и токсичности воды рек бассейна Нижнего Дона

Река	Тип створа*	Балл по уровню загрязненности		Балл по токсичности ДО**	Средний балл	Состояние участка реки (класс качества)
		воды	ДО			
Бассейн Северского Донца						
Большая Каменка	уст.	3	1	1	1,67	равновесное (II)
Большая Гнилуша	ниж.	4	1	2	2,33	напряженное (III)
	уст.	4	2	2	2,67	напряженное (III)
Быстрая	уст.	2	1	1	1,33	естественное (I)
Калитва	уст.	2	1	1	1,33	естественное (I)
Кундрючья	ниж.	4	1	2	2,33	напряженное (III)
	уст.	3	1	2	2,00	равновесное (II)
Лихая	верх.	3	2	1	2,00	равновесное (II)
	ниж.	3	1	1	1,67	равновесное (II)
	уст.	3	1	2	2,00	равновесное (II)
Малая Каменка	верх.	2	1	2	1,67	равновесное (II)
	ниж.	3	1	1	1,67	равновесное (II)
	уст.	2	1	1	1,33	естественное (I)
Северский Донец	ниж.	2	1	2	1,67	равновесное (II)
	уст.	3	1	–	2,00	равновесное (II)
Бассейн Тузлова						
Аюта	верх.	4	2	1	2,33	напряженное (III)
	ниж.	4	1	1	2,00	равновесное (II)
	уст.	4	1	2	2,33	напряженное (III)
Большой Несветай	ниж.	3	1	1	1,67	равновесное (II)
	уст.	4	1	–	2,50	напряженное (III)
Грушевка	верх.	3	1	2	2,00	равновесное (II)
	ниж.	3	2	2	2,33	напряженное (III)
	уст.	3	1	1	1,67	равновесное (II)
Малый Несветай	верх.	4	2	1	2,33	напряженное (III)
	ниж.	4	1	2	2,33	напряженное (III)
	уст.	4	1	2	2,33	напряженное (III)
Тузлов	уст.	3	1	2	2,00	равновесное (II)
Атюхта	уст.	5	1	2	2,67	напряженное (III)
Примечание: *тип створа: (верх. – верхний) и (ниж. – нижний) – это створы на участке реки выше или ниже сброса шахтных вод, (уст. – устьевой) – створ в устье реки; **неизмененные (нативные) пробы донных отложений (Закруткин и др., 2016).						

Результаты комплексной оценки показали, что в бассейне Тузлова большинство участков рек (61,5%) функционируют в «напряженном» состоянии (класс качества воды - III), а в бассейне Северского Донца (60 %) – в «равновесном» (класс качества воды - II), что согласуется с различиями в уровнях антропогенной нагрузки на водосборах (таблица 67). В бассейне Тузлова сконцентрировано наибольшее количество источников загрязнения речных вод – действующих и ликвидированных объектов угольной отрасли в Ростовской области (угольных шахт, угольных отвалов и др. источников загрязнения) (рисунок 44).

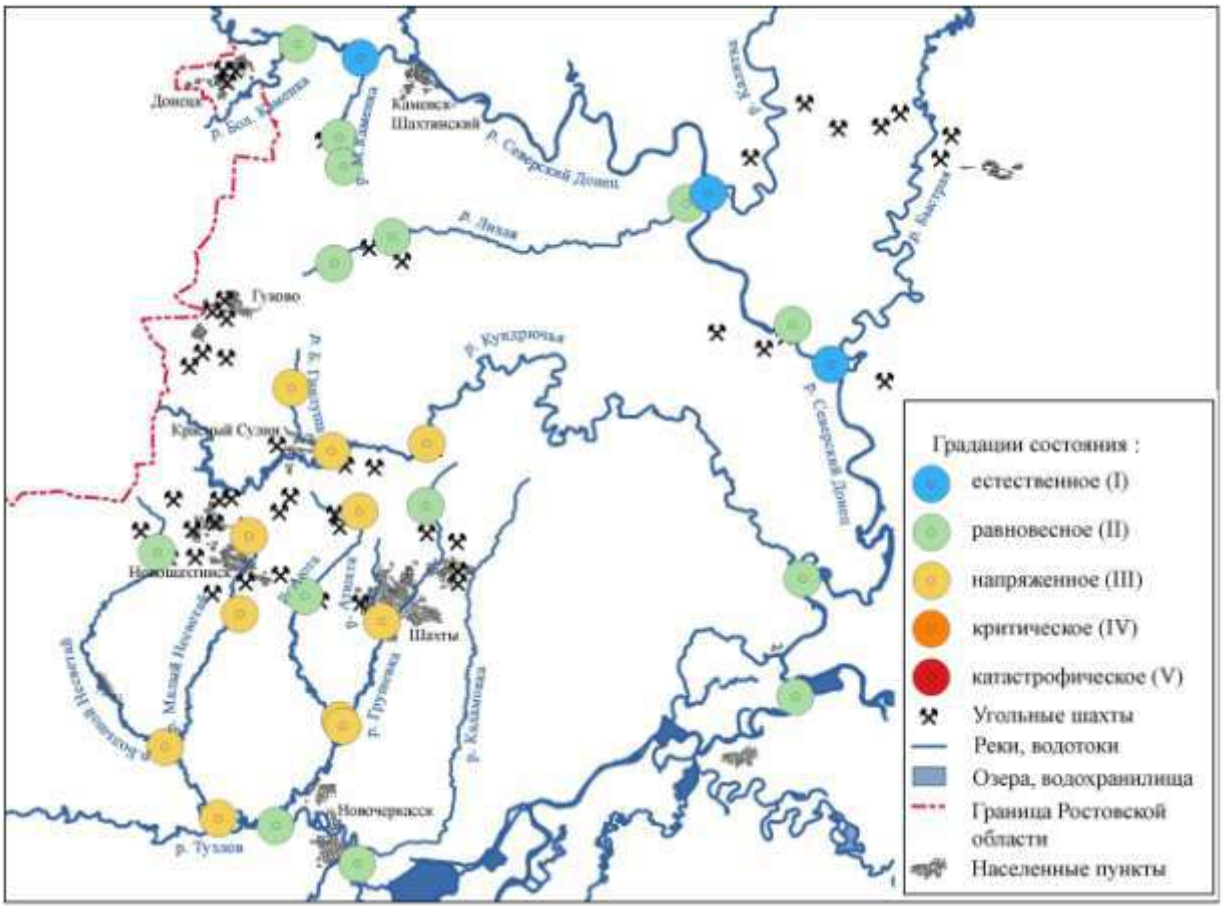


Рисунок 44 – Картосхема пространственной изменчивости состояния участков рек в бассейне Нижнего Дона по комплексу показателей

Сравнение двух бассейнов показывает, что состояние речных участков в бассейне Северского Донца более благополучное. Наблюдается совпадение результатов токсикологических и геохимических оценок для большинства участков исследуемых рек степной зоны ЕЧР.

7.5 Прогнозная оценка динамики качества воды на основе результатов многолетних исследований речных вод ЕЧР

Исследование динамики изменчивости качества речных вод, выявление и характеристика основной тенденции развития процессов формирования химического состава и качества воды дают основание для прогнозирования – определения будущего тренда изменчивости качества речных вод. Особенно актуальными становятся вопросы прогнозирования в условиях маловодных периодов в режимах отдельных рек и изменениях условий водопользования в речном бассейне [208].

Важное место в прогнозировании занимают статистические методы. Применение прогнозирования предполагает, что закономерность развития процесса, действующая в прошлом (внутри ряда динамики), сохранится и в прогнозируемом будущем, т.е. прогноз основан на экстраполяции [158]. Применение экстраполяции в прогнозировании базируется на следующих предпосылках:

- развитие исследуемого процесса в целом описывается плавной кривой (без очень резких скачков);

- общая тенденция развития явления в прошлом и настоящем не должна претерпевать серьезных изменений в будущем.

Поэтому надежность и точность прогноза зависят от того, насколько близкими к действительности окажутся эти предположения и как точно удалось охарактеризовать выявленную в прошлом закономерность. Экстраполяцию следует рассматривать как начальную стадию построения прогнозов [158, 208].

Чем шире раздвигаются временные рамки прогнозирования, тем очевиднее становится недостаточность простого экстраполяционного метода (изменение тенденций, неизвестны точки поворота кривых, выявление новых факторов влияния и т.д.). Поэтому, очевидно, что чем короче срок экстраполяции («период упреждения»), тем более надежные и точные результаты (при прочих равных условиях) дает прогноз. За короткий период не успевают сильно измениться условия развития процесса и характер его динамики.

В теории статистики выделяют следующие элементарные методы экстраполяции [158]: среднего абсолютного прироста, среднего темпа прироста и экстраполяцию на основе выравнивания рядов.

Прогнозирование по среднему абсолютному приросту может быть выполнено в том случае, когда есть уверенность считать общую тенденцию линейной, т.е. метод основан на предположении о равномерном изменении параметра, явления (есть стабильность абсолютных приростов). Прогнозирование по среднему темпу прироста осуществляется в случаях, когда есть основание считать, что общая тенденция ряда характеризуется показательной (экспоненциальной) кривой.

Эти два способы экстраполяции тренда являются простейшими и приближенными, поэтому наиболее распространенным методом прогнозирования считают аналитическое выражение тренда. При этом для выхода за границы исследуемого периода достаточно продолжить значения независимой переменной времени (t). Предполагается, что тенденция формируется под воздействием множества факторов, причем не представляется возможным выделить отдельно их влияние. В связи с этим ход развития явления связывается не с какими-либо конкретными факторами, а с течением времени (y=f(t)). Такая экстраполяция позволяет получить точечное значение прогноза [208].

Любой статистический прогноз носит приближенный характер и целесообразно определение доверительного интервала [158]. Таким образом, прогноз любого природного процесса является важным с прикладной точки зрения, но достаточно условным.

В практике прогнозирование качества воды рек в условиях антропогенного воздействия связано с необходимостью ***оперативного прогнозирования качества воды*** для экстренного принятия мер по снижению или недопущению загрязнения поверхностных вод при аварийных сбросах сточных вод [208].

В общих чертах «схема оперативного прогнозирования загрязненности отдельных участков рек» сводится к следующему [88, 208].

1. Сначала ***необходимо определить «неблагоприятные условия»,*** при которых возможно «опасное загрязнение речной воды на контролируемых ее участках». Это определяется гидрометеорологическими условиями (изменение уровней и расходов воды, вероятность опасных гидрологических явлений и т.п.) и вероятностью аварийных сбросов сточных вод, реально угрожающие вызвать высокий уровень загрязненности воды. То есть для составления прогноза качества воды рек сначала необходимо спрогнозировать неблагоприятные условия. Для этого нужны прогнозные данные [88]:

- о режиме сброса сточных вод и их качественном и количественном составе;

- о минимальных и максимальных значениях расходов и температуры речной воды, а также о «максимальной толщине ледяного покрова с месячной заблаговременностью» (в холодный период);

- «прогноз на расчетный период «фонового» загрязнения, т.е. качества речной воды выше рассматриваемого источника загрязнения, а также прогноз самоочищающей способности воды на контролируемом участке реки».

Все эти прогнозные данные могут быть получены на основе данных многолетних наблюдений за гидрологическим и гидрохимическим режимами рек, а также от организаций, осуществляющих сброс сточных вод (водопользователи) и ведомств, проводящих контроль сбросов и эксплуатации очистных сооружений.

2. ***Разработка и/или выбор метода прогноза***. Это зависит от полноты и качества наблюдений, наличия достаточной информации, сложности обстановки на водном объекте. В работе [88] О.А. Клименко с соавторами рекомендовали использовать одну из трех видов модели:

- модель баланса вещества (с гарантированными значениями параметров и эмпирических коэффициентов);

- прямые и косвенные статистические связи концентраций веществ с гидрометеорологическими параметрами (температура и расход воды, толщина льда, скорость течения воды и т.п.);

- «комбинированное применение первых двух видов моделей».

«Для выбора лучшей расчетной модели предложено пользоваться оценочным коэффициентом, представляющим собой отношение погрешности результатов проверочных прогнозов к погрешности среднемноголетнего значения концентрации рассматриваемого вещества, т.е. оценка проводится путем определения, насколько результаты прогноза лучше обычной среднемноголетней концентрации» [88, с. 96].

3. Оценка и анализ оправдываемости прогноза качества воды являются его завершающим этапом. «Прогноз считается неоправдавшимся, если фактические концентрации больше (или меньше) предсказанной величины (с учетом погрешности методики прогноза)» или границ применимости выбранного метода прогноза.

Для прогнозной оценки и ее точности важным является временной аспект: краткосрочный прогноз или заблаговременный (долгосрочное прогнозирование). Считается, особенно в гидрометеорологической области прогнозирования, что точность кратко- и

среднесрочных прогнозов выше, чем долгосрочных. В любом случае, надежность прогнозирования будет зависеть от комплексности и надежности систем наблюдений, полноты и достоверности информации, используемой для прогноза качества воды, квалификации специалиста и др. факторов [208].

С позиции оценки допустимого воздействия на водный объект со стороны сточных вод прогнозная модель может быть построена на основании одного-двух параметров, описывающих процессы трансформации определенных веществ (кинетику распада вещества) [208]. Традиционно наиболее широко используются уравнения кинетики различных порядков. Например, классические уравнения Стритера-Фелпса описывают процесс трансформации органических веществ. В первом приближении «весь комплекс сбрасываемых в реку органических загрязняющих веществ оценивается потребление кислорода и компенсационным воздействием атмосферной аэрацией» [173, с. 85].

Необходимо учитывать многофакторность процессов, влияющих на качество воды и «сложный характер систем», поэтому полученные расчетным путем теоретические прогнозные модели качества воды для эффективного применения на практике требуют проведение сложных экспериментальных работ по апробации и верификации [242].

Во многих публикациях авторами используются регрессионные методы для моделирования динамики качества воды и получения прогнозных оценок. Так, в работе [48] Л.Г. Голубевой приведены результаты оценки эффективности различных методов прогноза качества воды на примере бассейна р. Кальмиус (бас. Азовского моря). Сравнивалась эффективность авторегрессионного, множественного регрессионного и факторного анализа, а также метода группового учета аргументов (МГУА) для прогнозирования качества воды водных объектов. Сравнение методов осуществлено по ошибке прогноза и показано, что более точные прогнозы получены «методами множественной регрессионной модели и модели МГУА и могут быть использованы для прогноза загрязнения бассейна реки с повышенной антропогенной нагрузкой [48].

Наиболее простой и достаточно эффективный метод прогнозирования качества воды рек – это построение уравнений регрессии (прогнозные модели), характеризующие зависимость изменения массовой концентрации вещества во времени. Для приемлемых моделей предполагается, что коэффициент детерминации должен превышать 50%. Однако изменение содержания химических веществ в воде не всегда имеет четкий временной тренд и прогноз качества воды будет неточным из-за естественной значительной ва-

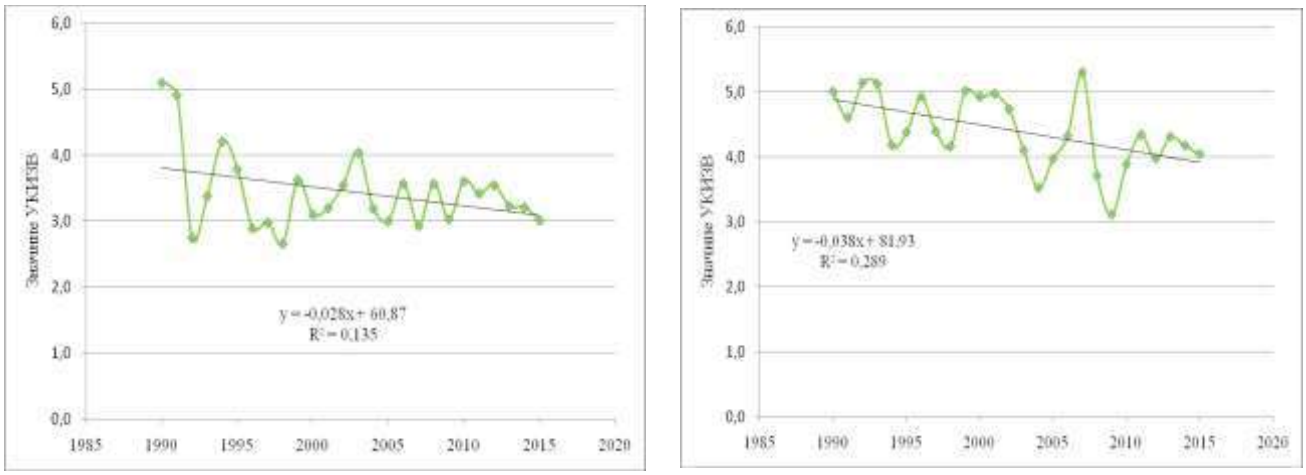
риабельности значений концентраций [16]. Также достаточно просто строятся прогнозы методом построения логарифмического тренда при наличии длительных рядов данных показателей. Так, например, можно сделать прогноз динамики антропогенной нагрузки на водный объект в разные по водности периоды на основе анализа динамики сбросов сточных вод, данных о планируемых (прогнозных) объемах промышленного водопотребления [244].

На основе результатов комплексной оценки качества воды (по показателю УКИЗВ) и степени ее загрязненности, особенно за многолетний период, могут быть получены прогнозные модели динамики качества воды речных вод ЕЧР. В качестве объектов были выбраны верхние и нижние участки рек Ока и Дон, расположенные в разных природных зонах (т.е. имеющие различные условия формирования химического состава воды). Построены тренды изменения значений УКИЗВ на участках реки Ока (рисунок 45): в районе г. Орёл – верхнее течение, в районе г. Горбатов – нижнее течение и на участках реки Дон (рисунок 46): выше г. Задонск – верхнее течение, в черте ст-цы Раздорская – нижнее течение реки. Уравнения регрессии (прогнозные модели) для исследования динамики качества воды на отдельных участках рек Ока и Дон представлены в таблице 68 [208].

На основе анализа представленных графиков и регрессионных зависимостей (за период 1990-2015 гг.) можно сделать следующие выводы [208]:

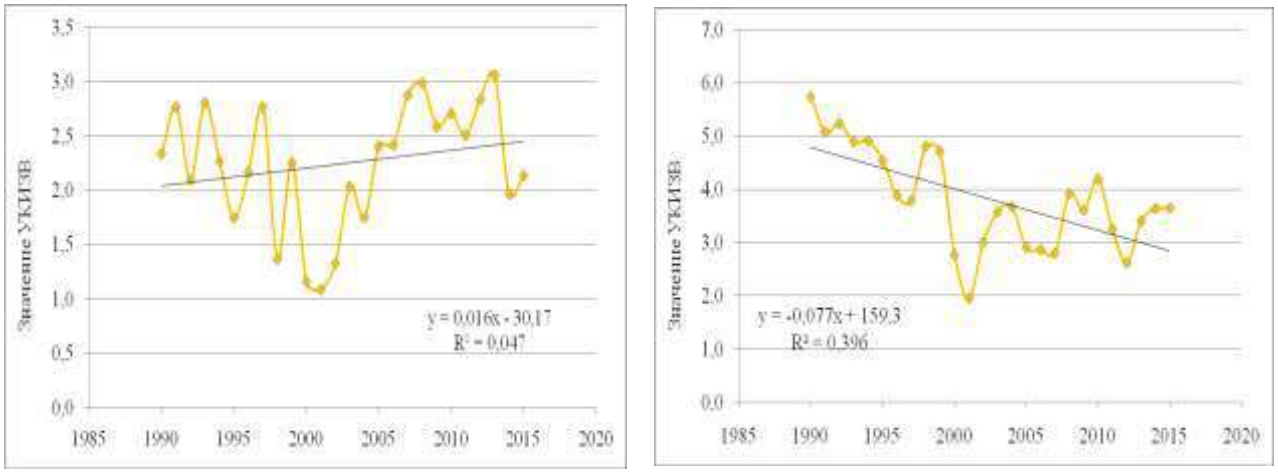
- тенденция изменения качества воды на отдельных участках реки Ока имеет общую направленность на снижение степени загрязненности речных вод (снижение значений УКИЗВ) (рисунок 45);

- для реки Дон наблюдаются разнонаправленные тренды: в верхнем течении реки сформировался за многолетний период возрастающий тренд (тенденция ухудшения качества воды), в нижнем течении – убывающий тренд – происходит снижение значений УКИЗВ (рисунок 46), то есть улучшение качества воды (снижение степени ее загрязненности);



а б

Рисунок 45 – Тренды изменения значений УКИЗВ на участках реки Ока (за 1990-2015 гг.): а – ниже г. Орёл, б – г. Горбатов [208]



а б

Рисунок 46 – Тренды изменения значений УКИЗВ на участках реки Дон (за 1990-2015 гг.): а – выше г. Задонск, б – в черте ст-цы Раздорская [208]

- уравнения регрессии, характеризующие зависимость изменения значений УКИЗВ во времени, имеют коэффициент детерминации ниже 0,50, что говорит о низкой точности моделей (таблица 68);

- сопоставление прогнозных и реальных значений УКИЗВ для исследуемых участков рек показало приемлемый уровень прогноза только для участка р. Дон, ст-ца Раздорская (таблица 69).

Таблица 68 – Уравнения регрессии (прогнозные модели) и прогнозные значения УКИЗВ для отдельных участков рек Ока и Дон [208]

Река – пункт наблюдений	Уравнение регрессии (R^2)	Прогнозные значение УКИЗВ на			
		2019 г.	2021 г.	2023 г.	2030 г.
р. Ока – ниже г. Орел	y = -0,028·x+60,87 (0,14)	4,34	4,28	4,27	4,03
р. Ока – г. Горбатов	y = -0,038·x+81,93 (0,29)	5,21	5,13	5,06	4,79
р. Дон – выше г. Задонск	y = 0,016·x – 30,17 (0,05)	2,13	2,17	2,20	2,31
р. Дон – ст. Раздорская	y = -0,077·x+159,3 (0,40)	3,84	3,68	3,53	2,99
Примечание: цветовое обозначение класса качества воды (ККВ): – 3-й ККВ («А» и «Б») – «загрязненная» и «очень загрязненная» – 4-й ККВ («А» и «Б») – «грязная»					

Таблица 69 – Сопоставление прогнозных и реальных значений УКИЗВ для отдельных участков рек Ока и Дон [208]

Река – пункт наблюдений	Реальное значение УКИЗВ в		Прогноз на 2019 г.		Прогноз на 2021 г.	
	2019 г.	2021 г.	значение	отклонение, %	значение	отклонение, %
р. Ока – ниже г. Орел	3,43	2,98	4,34	+21,0	4,28	+30,4
р. Ока – г. Горбатов	3,63	4,12	5,21	+30,3	5,13	+19,7
р. Дон – выше г. Задонск	1,29	1,53	2,13	+38,9	2,17	+29,5
р. Дон – ст. Раздорская	3,80	3,81	3,84	+1,0	3,68	+3,5
Примечание: цветом выделен приемлемый прогноз качества воды.						

Таким образом, составление прогноза качества воды или состояния водного объекта базируется на использовании математических моделей разной сложности. «При этом необходимо учитывать все факторы формирования химического состава и качества воды с учетом существующих и планируемых (прогнозируемых) внешних воздействий на водный объект. Для повышения точности прогноза сначала необходимо спрогнозировать неблагоприятные условия» [208, с. 112].

«В целом надежность прогнозирования будет зависеть от комплексности и надежности систем наблюдений, полноты и достоверности информации, используемой для прогноза качества воды, квалификации специалиста и др. факторов, а также от правильно подобранной модели прогнозе качества воды, уровня ее сложности, количества параметров в модели и т.п.

Прогнозирование динамики качества речных вод в современных условиях антропогенного воздействия является важной составляющей системы мониторинга состояния и загрязнения водных объектов, а также может быть использовано при разработке и оценке эффективности природоохранных мероприятий на водосборной территории» [208, с. 112].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований сформулированы следующие выводы по пространственно-временной изменчивости химического состава и качества речных вод, о распределении гидрохимических аномалий и тенденциях изменения химического состава воды для участков рек различных природных зон ЕЧР.

1. В изменении химического состава воды рек европейской части России наблюдается гидрохимическая зональность, поскольку распределение химических веществ в природных водах определяется природно-климатическими условиями и зональными особенностями ландшафтов. Существует тенденция к увеличению с севера на юг и с запада на восток содержания главных ионов и некоторых биогенных веществ и тенденция к снижению содержания соединений железа и цинка. При этом химический состав воды небольших рек лучше отражает климатические условия местности и более полно передает зональность состава воды. С другой стороны, с уменьшением размера бассейна усиливается влияние местных азональных условий (состав почв и пород, гидрогеологические условия, рельеф). Гидрохимическая зональность нарушается для больших рек, бассейны которых охватывают несколько природных зон и химический состав их воды часто отличается от химического состава воды притоков в данной местности (например, река Дон и его южные притоки Северский Донец, Сал, Маныч и др. имеют отличия в составе воды).

2. Нарушение гидрохимической зональности, азональные особенности водосборов малых рек и воздействие антропогенных факторов формируют гидрохимические аномалии (естественного или антропогенного генезиса). Доля выявленных гидрохимических аномалий в речных водах ЕЧР составила всего 5,9 % от общего числа возможных вариант. По количеству случаев выявленных аномальных значений гидрохимические показатели можно разделить на три группы:

первая – более 10 % случаев – это SO_4^{2-} (18,4 %) и Ca^{2+} (10,7 %);

вторая от 5 до 10 % – это Cl^-, NO_3^-, NH_4^+, Fe, ОВ (по ХПК), Mg^{2+}, HCO_3^-, Cu^{2+};

третья – менее 5 % – это Zn^{2+}, Mn, нефтепродукты и ЛОВ (по $БПК_5$).

По генезису в речных водах ЕЧР незначительно преобладают аномальные значения концентраций антропогенного типа (53 %), сформированные за счет антропогенных

факторов. В направлении с севера на юг наблюдается увеличение доли аномальных значений концентраций, что коррелирует с тенденцией усиления антропогенной нагрузки на ландшафты и на водотоки за счет более развитой промышленности и сельского хозяйства в центральной и южной частях ЕЧР.

Наибольшее количество гидрохимических аномалий выявлено в зонах тайги, смешанных и широколиственных лесов. В пространственном распределении выделяются отдельные территория с преобладанием гидрохимических аномалий антропогенного типа (например Кольский полуостров) или с формированием аномалий преимущественно естественного генезиса (в бассейнах рек в зоне тайги – Северная Двина, реки Карелии и др.).

3. Выявлено, что для большинства речных участков практически во всех физико-географических провинциях ЕЧР медианные значения концентраций превышают установленные нормативы по отдельным показателям качества вод. Это наблюдается по содержанию в воде органических веществ, соединений железа и меди во всех рассмотренных природных зонах, а для цинка – в зонах тундры и лесотундры, зоне тайги и в зоне смешанных и широколиственных лесов.

Во временном аспекте проявляется разнонаправленность тенденций изменчивости концентраций химических веществ в воде рек ЕЧР по большинству показателей. В целом для речных участков меньше всего трендов сформировалось в многолетней динамике изменения концентраций ионов магния, кальция и гидрокарбонатов (менее 50 % случаев), больше всего – для органических веществ и соединений марганца (по 70 %), соединений железа (80 %) и нефтепродуктов (85 %). Большинство из выявленных тенденций имеют убывающую направленность, что будет иметь положительный эффект в изменении качества речных вод ЕЧР.

4. Выявлена пространственно-временная неоднородность речных вод по степени их загрязненности. Большинство исследуемых речных участков ЕЧР по степени загрязненности воды характеризуются как стабильно «загрязненные» и/или «очень загрязненные», что соответствует 3-му классу качества воды. Доля таких речных участков составляет от 30 % (в зонах лесостепей и степей) до 57 % (в зоне тайги). Существенна также доля речных участков, водная среда которых находится в переходном состоянии, когда качество воды меняется в пределах 3-4 классов, и составляет от 19 % (в зоне тайги) до 39 % (в зонах лесостепей и степей).

Наблюдается пространственная неоднородность в пределах ЕЧР степени загрязненности воды рек разных физико-географических провинций как внутри природной зоны, так и между природными зонами. В зональной изменчивости прослеживается общая закономерность возрастания доли участков рек, водная среда которых характеризуется как стабильно «очень загрязненная» или «грязная», при движении с севера на юг. В зонах смешанных и широколиственных лесов, лесостепей и степей высока доля речных участков, вода которых имеет стабильно высокую степень загрязненности – категории «грязная» и/или «очень грязная».

Временная динамика качества речных вод ЕЧР за период с 1990 по 2015 гг. проявляется в тенденциях к стабилизации или снижению степени ее загрязненности для большинства участков рек во все природных зонах ЕЧР, что положительно повлияет на качество воды в сторону его улучшения в будущем.

5. Сформулированы научно-методические подходы к комплексной оценке качества речных вод и состояния участков рек на основе анализа существующих подходов и с использованием бассейнового принципа и экосистемного подхода. Предлагается рассматривать и оценивать качество воды и состояние участка реки по комплексу показателей биотической и абиотической составляющих водной системы (по совокупности состояния биоты, водной среды и донных отложений).

На примере рек степной зоны ЕЧР впервые на основе данных геохимических и экотоксикологических исследований проведена комплексная оценка качества воды и состояния речных участков на основе разработанной шкалы с выделением 5 классов. Оценочная шкала учитывает степень загрязненности воды и донных отложений по отношению к их фоновым характеристикам, состояние гидробиоценозов и степень токсичности водной среды.

6. Реализация предлагаемой комплексной схемы выполнена на примере участков рек Кольского полуострова и Нижнего Дона (рек бассейнов Северского Донца и Тузлова).

Комплексная оценка качества воды и состояния участков рек Кольского полуострова по комплексу гидрохимических и гидробиологических показателей показала, что состояние большинства изученных участков рек характеризуется как «равновесное» (в 83 % случаях в зонах тундры и лесотундры и в 71 % случаях в зоне тайги). С экологической точки зрения наиболее неблагоприятная ситуация сложилась на участках рек Можжель и Ковдор в районе города Ковдор.

Комплексная оценка качества воды и состояния речных участков в бассейне Нижнего Дона показала, что в бассейне Тузлова большинство участков рек (61,5%) функционируют в «напряженном» состоянии, а в бассейне Северского Донца (60 %) – в «равновесном», что согласуется с различиями антропогенной нагрузки на речных водосборах.

Полученные результаты исследований показали необходимость использования комплексного экосистемного подхода при оценке качества воды и состояния участков рек. При этом важно сопоставлять состояние всех основных компонентов водной экосистемы – воды, донных отложений и биоты. Результаты комплексной оценки качества воды и состояния участков рек в дальнейшем могут быть использованы в области управления водными ресурсами, восстановления состояния малых рек, особенно в таких вододефицитных районах, как зона степей на юге ЕЧР.

Оценка природного содержания химических веществ в реках различных природных зон ЕЧР, выявление основных тенденций их изменчивости и гидрохимических аномалий в поверхностных водах имеет важное прикладное значение. В дальнейшем это может быть использовано при решении таких актуальных вопросов, как разработка региональных критериев оценки современного качества воды и состояния водных объектов, выявление участков рек с повышенным или пониженным содержанием отдельных химических веществ, прогнозирование изменения химического состава речных вод и разработка экологически обоснованных водоохранных мероприятий, направленных на сохранение и восстановление естественного функционирования речных систем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абакумов, В.А. Экологические модификации и критерии экологического нормирования / В.А. Абакумов // Труды Международного симпозиума. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – С. 11-16.

2. Абалаков, А.Д. Анализ остроты экологических проблем в зоне техногенного воздействия / А.Д. Абалаков, Ю.Н. Малышев, Ю.В. Полюшкин // Сибирский экологический журнал. – 1999. – Т. 6. – № 6. – С. 673-680.

3. Абрамова, Е.А. Оценка уровня антропогенной нагрузки на бассейн реки Оки в пределах Московской области / Е.А. Абрамова // Вестн. Моск. гос. обл. ун-та. Серия География. – 2011. – № 2. – С. 20-26.

4. Алекин, О.А. Основы гидрохимии / О.А. Алекин. – Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1970. – 444 с.

5. Алексеевский, Н.И. Термический режим рек на юге европейской территории России / Н.И. Алексеевский, Е.О. Кузьмина, А.А. Базелюк // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2014. – № 5. – С. 56-66.

6. Алексеевский, Н.И. Оценка влияния изменений климата на водный режим и сток рек бассейна Волги / Н.И. Алексеевский, Н.Л. Фролова, М.М. Антонова, М.И. Игонина // Вода: химия и экология. – 2013. – № 4 (58). – С. 3-12.

7. Амаро Медина, Д.Р. Интегральная оценка экологического благополучия речных систем / Д.Р. Амаро Медина, В.В. Дмитриев // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. – 2019. – Т. 64 – № 2. – С. 162–184.

8. Андронов, Г.П. Отходы обогащения – отрицательные и положительные аспекты / Г.П. Андронов, И.Б. Захарова, Н.М. Филимонова // Юдахинские чтения. Геодинамика и экология Баренц-региона в XXI в.: Материалы докладов всеросс. конференции с международным участием (15-18 сентября 2014 года). – Архангельск. – 2014. – С. 3-6.

9. Архипов, Д.Э. Развитие мониторинга водных объектов на основе интегральной оценки экологического статуса и моделирования экологических функций / Д.Э. Архипов, К.Е. Едемский, С.И. Кожевникова, В.В. Дмитриев // European Journal of Natural History. – 2022. – №2. – С. 31-37.

10. Багоцкий, С.В. К вопросу об экологическом обоснованном регламентировании поступления загрязняющих веществ в водоёмы / С.В. Багоцкий, М.В. Санин // Экологическое нормирование и моделирование антропогенного воздействия на водные экосистемы. Выпуск 2. – Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат. – 1999. – С. 111-117.

11. Багоцкий, С.В. Пестициды и их воздействие на водные экосистемы / С.В. Багоцкий, М.В. Санин, Л.О. Эйнор. – Москва.: Изд-во ВНИИ ТЭИАгропром, 1992. – 80 с.

12. Бакаева, Е.Н. Биологические подходы к оценке экотоксикологического состояния водных экосистем / Е.Н. Бакаева, А.М. Никаноров // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2015. – Т. 41. – № 1. – С. 63-79.

13. Бакаева, Е.Н. Экотоксичность поверхностных вод бассейна реки Северский Донец (Ростовская область) по результатам набора биотестов / Е.Н. Бакаева, М.Н. Тарадайко // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2016. – № 4 (192). – С. 57-61.

14. Баринова, С.С. Биоазнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды / С.С. Баринова, Л.А. Медведева, О.В. Анисимова. – PiliesStudio, Тель Авив, 2006. – 498 с.

15. Баринова, С.С. О необходимости разработки региональных баз данных биоиндикаторов состояния водных объектов / С.С. Баринова // Водные биоресурсы и среда обитания. – 2020. – Т. 3. – № 2. – С. 7-16.

16. Боронина, Л.В. Прогноз экологического состояния поверхностных вод Нижневолжского бассейна / Л.В. Боронина, П.Н. Садчиков, А.Э. Усынина, С. З. Тажиева // Юг России: экология, развитие. – 2012. – № 3. – С. 12-16.

17. Брызгало, В.А. Изменчивость экологического состояния речных зон устьевых экосистем крупных рек России / В.А. Брызгало, А.М. Никаноров, О.С. Решетняк // Вода: химия и экология. – 2013. – №. 12. – С. 15-21.

18. Брызгало, В.А. Изменчивость экологического состояния и транспорт загрязняющих веществ по длине р. Печора / В.А. Брызгало, О.С. Решетняк, Л.С. Косменко, М.Ю. Кондакова // Вестник Северного (Арктического) Федерального университета. Серия «Естественные науки». – 2015. – № 3. – С. 5-14.

19. Булгаков, Н.Г. Индикация состояния природных экосистем и нормирование факторов окружающей среды. Обзор существующих подходов / Н.Г. Булгаков // Успехи современной биологии. – 2002. – Т. 122. – № 2. – С. 115-135.

20. Булгаков, Н.Г. Прогноз состояния экосистем и нормирование факторов среды в водных объектах Нижнего Дона / Н.Г. Булгаков, А.П. Левич, В.Н. Максимов // Известия РАН. Серия биологическая. – 1995. – № 2. – С.218-255.

21. Булгаков, Н.Г. Региональный экологический контроль на основе биотических и абиотических данных мониторинга / Н.Г. Булгаков, А.П. Левич, В.Н. Максимов // Экологический мониторинг. Ч.5 / Учеб. пособ. под ред. проф. Д.Б. Гелашвили. Нижний Новгород. – Изд-во ННГУ, 1998. – С. 93-259.

22. Булдакова, Е.Г. Изменения химических и микробиологических анализов воды в реке Воркута под влиянием антропогенных факторов / Е.Г. Булдакова, Н.Н. Даль // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № 7. – С. 165-174.

23. Валиев, В.С. Метод комплексной оценки загрязненности донных отложений / В.С. Валиев, Д.В. Иванов, Р.Р. Шагидуллин // Труды Карельского научного центра РАН. – 2019. – № 9. – С. 51-59.

24. Васта, Хемн. Комплексная оценка современного состояния речных экосистем в бассейне Северского Донца (в пределах Ростовской области) / Хемн Васта, О.С. Решетняк, В.Е. Закруткин // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2019. – № 2 (202). – С. 47-54.

25. Веницианов, Е.В. Современные проблемы управления качеством поверхностных вод / Е.В. Веницианов, Г.В. Аджиенко // Труды ИБВВ РАН. – 2019. – В. 85(88). – С. 7-16.

26. Веницианов, Е.В. Современные проблемы оценки, регулирования и мониторинга качества поверхностных вод / Е.В. Веницианов, Г.В. Аджиенко, А.А. Возняк, М.А. Чиганова // Водное хозяйство России. – 2018. – № 1. – С.47-59.

27. Вернадский, В.И. История природных вод / В.И. Вернадский; отв.ред. С.Л. Шварцев, Ф.Т. Яншина. – М.: Наука, 2003. – 750 с.

28. Верниченко, А.А. Комплексная оценка экологического состояния водных объектов / А.А. Верниченко, Д.Ю. Верниченко-Цветков // Системы контроля окружающей среды. Севастополь. – 2002. – В. 4. – С. 349-353.

29. Веселовский, Н.В. Режим главных ионов и минерализация воды р. Дон и его притоков / Н.В. Веселовский, Г.Н. Данилова, Р.К. Манихина // Гидрохимические материалы. – 1975. – Т. 62. – С.18-31.

30. Виноградов, А.П. Биогеохимические провинции и их роль в органической эволюции / А. П. Виноградов // Геохимия. – 1963. – № 3. – С. 199-212.

31. Виноградов, А.П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. 2-е изд. / А.П. Виноградов. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 235 с.

32. Воловик, Ю.И. Гидрохимическая характеристика рек Терека, Сулака и Самура / Ю.И. Воловик, А.А. Зенин // Гидрохимические материалы. – 1984. – Т. 87. – С. 3-26.

33. Вопросы экологического нормирования и разработка системы оценивания состояния водоемов / Материалы Объединенного Пленума Научного совета ОБН РАН по гидробиологии и ихитологии, Гидробиологического общества при РАН и Межведомственной ихтиологической комиссии. Москва, 30 марта 2011 г. / Отв. ред.: академик РАН Д.С. Павлов, чл.-корр. РАН Г.С. Розенберг, д.б.н. М.И. Шатуновский. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. – 196 с.

34. Гавришин, А.И. Гидрогеохимические исследования с применением математической статистики и ЭВМ / А.И. Гавришин. – М.: изд-во «Недра», 1974. – 144 с.

35. Гавришин, А.И. Формирование химического состава шахтных вод в Восточном Донбассе / А.И. Гавришин, А. Корадини, А.В. Мохов, Л.И. Бондарева. – Новочеркасск: УПЦ «Набла», ЮРГТУ (НПИ), 2003. – 188 с.

36. Гаевский, Ю.К. Загрязнение р. Волги в районе г. Волгограда / Ю.К. Гаевский, В.Т. Каплин // Гидрохимические материалы. – 1968. – Т. 46. – С.203-207.

37. Географический авторский проект: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://fedoroff.net/ (дата обращения 03.06.2023).

38. Геопортал МГУ: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.geogr.msu.ru:8082/FGR/ (дата обращения 23.09.2017).

39. Георгиади, А.Г. Климатические и антропогенные факторы в многолетних изменениях речного стока реки Волги / А.Г. Георгиади, Н.И. Коронкевич, И.С. Зайцева, Е.А. Кашутина, Е.А. Барабанова // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2013. – № 4. – С. 4-19.

40. Геохимическая карта России масштаба 1:10 000 000 / Ред. А.А. Смыслов // Геологический атлас России. Раздел 2: геологическое строение и геофизическая характеристика недр. – Межрегиональный центр по геологической картографии (Геокарт). М.– СПб., 1996.

41. Геохимические ландшафты масштаба 1:20 000 000 / Под общ. ред. А.А. Саукова. Физико-географический атлас мира. – М.: АН СССР и главное управление геодезии и картографии ГГК СССР, 1964. – С. 238.

42. Геохимические провинции / Горная энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1986. – Т. 2. – С. 17.

43. Гибков, Е.В. Эколого-географический анализ и оценка гидроэкологического риска на территории Восточного Донбасса в связи с реструктуризацией угольной промышленности: автореф. … дис. канд. геогр. наук: 25.03.36 / Гибков Евгений Викторович. – Ростов-на-Дону, 2011. – 23 с.

44. Гидрохимический сток рек Европейской части России. Атлас / Под ред. Р.Г. Джамалова, О.С. Решетняк, М.М. Трофимчука. – М.: ИВП РАН, 2020. – 155 с.

45. Глазовская, М.А. «Ложные» геохимические аномалии, их генезис и принципы диагностики / М.А. Глазовская. В кн.: География почв и геохимия ландшафтов. – М.: Изд-во Московского университета, 1967. – С. 63-83.

46. Глазовский, Н.Ф. Охрана и рациональное использование вод бассейна Северского Донца в приграничных областях России и Украины / Н.Ф. Глазовский, В.Е. Закруткин, А.М. Кирюхин, Г.А. Сухоруков // В сб.: Трансграничные проблемы стран СНГ. – М.: «ОПУС», 2003. – С. 10-21.

47. Годовой отчет Государственного комитета по охране окружающей среды Мурманской области «Состояние окружающей природной среды Мурманской области на Кольском полуострове в 2000 году». http://www.murman.ru/ ecology/comitet/report00/ (дата обращения: 05.09.2016).

48. Голубева, Л.Г. Обоснование методов моделирования и прогноза динамики качества воды рек регионов с высокой антропогенной нагрузкой. Электронный ресурс: – Режим доступа: http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis nbuv/cgiirbis64) (дата обращения 23.05.2023).

49. Гордиенко, А.С. Многолетняя изменчивость качества воды в бассейне реки Кама / А.С. Гордиенко, О.С. Решетняк // Актуальные проблемы наук о Земле. Сборник

трудов II научной конференции студентов и молодых ученых с международным участием. – Ростов-на-Дону: изд-во Южного федерального университета, 2016. – С. 313-315.

50. Даниленко, А.О. Широтная зональность в распределении концентраций соединений тяжелых металлов в речных водах Европейской территории России / А.О. Даниленко, Л.С. Косменко, М.Ю. Кондакова, О.С. Решетняк // Тезисы докладов Всероссийской научной конференции «Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды. Основные результаты и пути развития». Москва, 20-22 марта 2017 г. / Отв. сост. А.А. Трунов, П.Д. Полумиева, А.А. Романовская. [Электронный ресурс] – М.: ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН», 2017. – С. 507-508.

51. Данилов-Данильян, В.И. Оценка современных подходов к управлению качеством поверхностных вод и их охране / В.И. Данилов-Данильян, Е.В. Вениционов, Г.В. Аджиенко, М.А. Козлова // Вестник Российской академии наук. – 2019. – Т. 89. – № 12. – С. 1248-1259.

52. Данилов-Данильян, В.И. Управление водными ресурсами. Согласование стратегий водопользования / В.И. Данилов-Данильян, И.Л. Хранович. – М.: Научный мир, 2010. – 232 с.

53. Джамалов, Р.Г. Масштаб и многолетняя динамика загрязнения бассейна Оки / Р.Г. Джамалов, К.Г. Власов, В.Ю. Григорьев, К.Г. Галагур, О.С. Решетняк, Т.И. Сафронова // Вода и экология: проблемы и решения. – 2021. – № 2 (86). – С. 40-53.

54. Джамалов, Р.Г. Водные ресурсы бассейна Дона и их экологическое состояние / Р.Г. Джамалов, М.Б. Киреева, А.Е. Косолапов, Н.Л. Фролова. – М.: ГЕОС, 2017. – 205 с.

55. Джамалов, Р.Г. Воды бассейна Оки: химический состав и источники загрязнения / Р.Г. Джамалов, А.М. Никаноров, О.С. Решетняк, Т.И. Сафронова // Вода и экология: проблемы и решения. – 2017. – № 3. – С.114-132.

56. Джамалов, Р.Г. Гидрохимический сток рек Европейской части России / Р.Г. Джамалов, О.С. Решетняк, К.Г. Галагур, К.Г. Власов, Т.И. Сафронова, А.С. Оботуров // Недропользование XXI век. – 2020. – № 5 (88). – С. 114-121.

57. Диагностический анализ состояния окружающей среды Арктической зоны Российской Федерации (Расширенное резюме). Отв. редактор Б.А. Моргунов. – М.: Научный мир, 2011. – 200 с.

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

59. Дмитриев, В.В. Интегральная оценка качества воды и выявления водных экосистем с различной степенью антропогенной трансформации / В.В. Дмитриев, Ю.А. Проценко, О.Н. Алексеева, Е.А. Примак // В сборнике: Теория и практика эколого-географических исследований. Итоги научной работы Учебно-научного центра географии и геоэкологии в 2004 году. – Санкт-Петербург, 2005. – С. 127-149.

60. Дмитриев, В.В. Интегральная оценка экологического состояния и качества природной и антропогенно-трансформированной среды / В.В. Дмитриев // Успехи современного естествознания. – 2007. – № 8. – С. 56.

61. Дмитриев, В.В. Интегральная оценка экологического благополучия геосистем / В.В. Дмитриев // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. – 2013. – № 2-1 (11). – С. 36-39.

62. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2021 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://mpr.gov-murman.ru. (Дата обращения: 12.04.2023).

63. Ежегодники качества поверхностных вод РФ // [Электронный ресурс]. – Режим доступа свободный: https://gidrohim.com/.

64. Жукинский, В.Н. Экологический риск и экологический ущерб качеству поверхностных вод: актуальность, терминология, количественная оценка / В.Н. Жукинский // Водные ресурсы. – 2003. – Т. 30. – №. 2. – С. 213-221.

65. Жукинский, В.Н. Методологические основы экологическая классификация качества поверхностных вод суши / В.Н. Жукинский, О.П. Оксиюк // Гидробиологический журнал. – 1983. – Т. 19. – № 2. – С. 59-67.

66. Закруткин, В.Е. Геохимия ландшафтов и техногенез / В.Е. Закруткин. – Ростов н/Д: изд-во СКНЦ ВШ, 2002. – 308 с.

67. Закруткин, В.Е. Донные отложения как индикатор первичного и источник вторичного загрязнения речных вод углепромышленных территорий Восточного Донбасса / В.Е. Закруткин, Е.В. Гибков, О.С. Решетняк, В.Н. Решетняк // Известия РАН. Серия Географическая. – 2020. – Т. 84. – № 2. – С. 259-271.

68. Закруткин, В.Е. Сравнительная оценка качества поверхностных и подземных вод Восточного Донбасса по гидрохимическим показателям /

В.Е. Закруткин, Е.В. Гибков, Г.Ю. Скляренко, О.С. Решетняк // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2016. – № 2. – С. 91-99.

69. Закруткин, В.Е. Угледобывающие районы как очаг экологической напряженности / В.Е. Закруткин, Е.В. Гибков, Г.Ю. Скляренко, О.С. Решетняк // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2018. – № 2 (198). – С. 75-83.

70. Закруткин, В.Е. Состояние загрязненности воды рек Ростовской области в районах техногенного влияния ликвидируемых шахт Восточного Донбасса (реки бассейна Тузлова) / В.Е. Закруткин, В.М. Иваник // Материалы научно-практической конференции с международным участием «Современные фундаментальные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод России». Часть 1. – Ростов-на-Дону, 2009. – С. 88-91.

71. Закруткин, В.Е. Эколого-географический анализ рисков реструктуризации угольной промышленности в Восточном Донбассе / В.Е. Закруткин, В.М. Иваник, Е.В. Гибков // Известия РАН. Серия географическая. – 2010. – № 5. – С. 94-102.

72. Закруткин, В.Е. Оценка влияния ликвидируемых шахт Восточного Донбасса на гидрохимический состав малых рек бассейна Северского Донца/ В.Е. Закруткин, В.М. Иваник, Е.В. Гибков, В.В. Скляров // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2010. – № 3. – С. 84-87.

73. Закруткин, В.Е. Закономерности антропогенного преобразования малых водосборов степной зоны Юга России (в пределах Ростовской области) / В.Е. Закруткин, Н.И. Коронкевич, Д.Ю. Шишкина, С.В. Долгов. – Ростов-на-Дону: Издательство РГУ, 2004. – 252 с.

74. Закруткин, В.Е. Современный химический состав и тенденции пространственно-временной изменчивости качества речных вод Восточного Донбасса / В.Е. Закруткин, О.С. Решетняк, Г.Г. Бабаян, Е.В. Гибков, Г.А. Саакян, В.Н. Решетняк // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2017. – № 2. – С. 101-109.

75. Закруткин, В.Е. Гидроэкологические особенности поверхностных вод углепромышленных территорий Восточного Донбасса / В.Е. Закруткин, О.С. Решетняк,

Е.Н. Бакаева // Известия РАН. Серия Географическая. – 2020. – Т. 84. – № 3. – С. 451-460.

76. Закруткин, В.Е. Эколого-гидрохимические особенности речных вод степной зоны Юга России (в пределах Ростовской области) / В.Е. Закруткин, О.С. Решетняк, Е.В. Гибков // Степи Северной Евразии: материалы VIII международного симпозиума (9-13 сентября 2018 г., Оренбург) / Под научной редакцией академика РАН А.А. Чибилёва. – Оренбург: ИС УрО РАН, 2018. – С. 379-383.

77. Закруткин, В.Е. Поверхностные и подземные воды в пределах техногенно нарушенных геосистем Восточного Донбасса: формирование химического состава и оценка качества: монография / Закруткин В.Е., Скляренко Г.Ю., Бакаева Е.Н., Решетняк О.С., Гибков Е.В., Фоменко Н.Е. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2016. – 172 с.

78. Заличева, И.Н. К вопросу о регламентировании антропогенной нагрузки биогенными веществами на водные экосистемы в таежной природно-климатической зоне / И.Н. Заличева, И.В. Волков // Водные ресурсы. – 1994. – Т. 21. – № 6. – С. 674-679.

79. Замолодчиков, Д.Г. Оценка экологически допустимых уровней антропогенного воздействия / Д.Г. Замолодчиков // Доклады АН. – 1992. – Т. 324. – № 1. – С. 237-239.

80. Заяц, Г.Н. Шахтные воды Ростовской области / Г.Н. Заяц, Н.Н. Фесенко // Гидрохимические материалы. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – Т. 35. – С.131-134.

81. Зинченко, Т.Д. Методологический подход к оценке экологического состояния речных систем по гидрохимическим и гидробиологическим показателям / Т.Д. Зинченко, Л.А. Выхристюк, В.К. Шитиков // Известия Самарского научного центра РАН. – 2000. – Т.2. – № 2. – С. 233-243.

82. Зинченко, Т.Д. Экосистемный подход к проблеме биоиндикации рек бассейна Средней и Нижней Волги (Обор) / Т.Д. Зинченко, В.К. Шитиков, Л.В. Головатюк, В.И. Номоконова, В.И. Попченко, Э.В. Абросимова // Астраханский вестник экологического образования. – 2014. – № 1 (27). – С. 58-67.

83. Израэль, Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды / Ю.А. Израэль. – М.: Гидрометеоиздат, 1984. – 559 с.

84. Карта геохимических ассоциаций РФ: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://geographyofrussia.com/wp-content/uploads/2015/01/72-73.jpg (дата обращения 23.09.2016).

85. Кашулин, Н.А. Влияние цветной металлургии на состояние субарктических пресноводных экосистем / Н.А. Кашулин, В.А. Даувальтер, С.С. Сандимиров, П.М. Терентьев, Д.Б. Денисов // Цветные металлы. – 2011. – № 11. – С.71-75.

86. Кашутина, Е.А. Влияние изменения состояния лесов европейской части России на годовой речной сток / Е.А. Кашутина, Н.И. Коронкевич // Водные ресурсы. – 2013. – Т. 40. – № 4. – С. 339-349.

87. Кимстач, В.А. Классификация качества поверхностных вод в странах Европейского экономического сообщества / В.А. Кимстач. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1993. – 48 с.

88. Клименко, О.А. Прогнозирование качества воды рек в условиях антропогенного воздействия / О.А. Клименко, В.В. Фадеев, М.Н. Тарасов, И.М. Кореновская // В сб. статей: Вопросы контроля загрязнения природной среды. – Л.: Гидрометеоиздат, 1981. – С. 94-98.

89. Кобзев, А.В. О комплексных показателях оценки качества природных вод по гидрохимическим показателям / А.В. Кобзев, М.Р. Ерофеева // Труды БрГУ. Серия: Естественные и инженерные науки. – 2019. – С.224-230.

90. Ковальский, В.В. Геохимическая экология / В.В. Ковальский. – М.: Наука, 1974. – 298 с.

91. Кожова, О.М. Популяционный подход к оценке устойчивости гидробионтов / О.М. Кожова, Б.К. Павлов // В сб.: Долгосрочное прогнозирование состояния экосистем. – Новосибирск, 1988. – С. 63-69.

92. Комаров, Р.С. Комплексная оценка качества воды притоков реки Кубани / Р.С. Комаров, О.С. Решетняк // Грозненский естественнонаучный бюллетень. – 2023. – Том 8. – №2 (32). – С. 24-30.

93. Кондакова, М.Ю. Характеристика гидрохимических аномалий в речных водах Европейской территории России / М.Ю. Кондакова, Л.С. Косменко, А.О. Даниленко, О.С. Решетняк // Тезисы докладов Всероссийской научной конференции «Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды. Основные результаты и пути развития». Москва, 20-22 марта 2017 г. / Отв. сост. А.А. Трунов,

П.Д. Полумиева, А.А. Романовская. [Электронный ресурс] – М.: ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН», 2017. – С. 505-506.

94. Коновалов, Г.С. Содержание и режим микроэлементов в воде и во взвешенных веществах в бассейне р. Волга / Г.С. Коновалов, А.А. Иванова // Гидрохимические материалы. – 1972. – Т. 53. – С.60-70.

95. Коновалов, Г.С. Соотношение натрия и калия в воде р. Дон / Г.С. Коновалов, В.И. Коренева, А.М. Клепешнев // Гидрохимические материалы. – 1973. – Т. 57. – С.22-29.

96. Королев, А.А. Экологическое зонирование территории Волжского бассейна по степени нагрузки сточными водами на основе бассейнового принципа (на примере Верхней Волги) / А.А. Королев, Г.С. Розенберг, Д.Б. Гелашвили, А.А. Панютин, Д.А. Иудин // Известия Самарского научного центра РАН. – 2007. –Т. 9. – № 1. – С. 265–269.

97. Косменко, Л.С. Неоднородность распределения содержания соединений металлов в речных водах Европейской части России с учетом гидрохимической зональности / Л.С. Косменко, О.С. Решетняк, А.О. Даниленко, М.Ю. Кондакова // Сборник статей, посвященный 100-летию со дня образования Гидрохимического института, «Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод». Часть 1. – Ростов-на-Дону, 2020. – С. 84-91.

98. Котеров, А.Н. Сила связи. Сообщение 2. Градации величины корреляции / А.Н. Котеров, Л.Н. Ушенкова, Э.С. Зубенкова, М.В. Калинина, А.П. Бирюков, Е.М. Ласточкина, Д.В. Молодцова, А.А. Вайнсон // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2019. – Т. 64. – № 6. – С. 12-24.

99. Кочуров, Б.И. Экологическая ситуация в России на обзорной карте / Б.И. Кочуров, А.В. Антипова, В.А. Лобковский, С.К. Костовска // Природа. – 2002. – № 12. – С. 51-56.

100. Крайнов, С.Р. Геохимико-экологическое состояние подземных вод России (причины и тенденции изменения химического состава подземных вод) / С.Р. Крайнов, В.П. Закутин // Геохимия. – 1994. – № 3. – С. 312-19.

101. Крайнов, С.Р. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты / С.Р. Крайнов, Б.Н. Рыженко, В.М. Швец – М.: Наука, 2004. – 677 с.

102. Крайнов, С.Р. Геохимия подземных вод хозяйственно-питьевого назначения / С.Р. Крайнов, В.М. Швец – М.: Недра, 1987. – 237 с.

103. Криночкин, Л.А. Прогнозная оценка территории России по региональным аномальным геохимическим полям: автореферат дис. ... доктора геолого-минералогических наук 25.00.09 / Криночкин Лев Алексеевич. – Москва, 2011. – 46 с.

104. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия: инструкция Минприроды РФ от 30.11.1992.

105. Лазарев, К.Г. О составе главнейших ионов в водах рек бассейна Терека / К.Г. Лазарев, Г.Н. Данилова // Гидрохимические материалы. – 1969. – Т. 50. – С.57-71.

106. Левич, А.П. Теоретические и методические основы технологии регионального контроля природной среды по данным экологического мониторинга / А.П. Левич, Н.Г. Булгаков, В.Н. Максимов. – Москва: Изд-во НИА-Природа, 2004. – 273 с.

107. Левич, А.П. «*IN SITU*» – технология установления локальных экологических норм / А.П. Левич, Н.Г. Булгаков, В.Н. Максимов, Д.В. Рисник // Вопросы экологического нормирования и разработка системы оценивания состояния водоемов. Отв. ред.: акад. РАН Д.С. Павлов, чл.-корр. РАН Г.С. Розенберг, д.б.н. М.И. Шатуновский. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. – С. 30-55.

108. Левич, А.П. Методическое и программное обеспечение управления качеством природной среды на основе биотической концепции регионального контроля, альтернативной идеологии ПДК / А.П. Левич, В.Н. Максимов // Тез. докл. 3-й Международной конф. «Проблемы управления качеством окружающей среды». – М.: Прима-Пресс, 1997. – С.65-69.

109. Левич, А.П. Метод расчета экологически допустимых уровней воздействия на экосистемы (метод ЭДУ) / А.П. Левич, А.Т. Терехин // Водные ресурсы. – 1997. – № 3. – С. 328-335.

110. Лукьяненко, В.И. Экологические ПДК и комплексный экологический мониторинг качества вод / В.И. Лукьяненко, Г.С. Розенберг, Г.П. Краснощеков // Волжский бассейн: экологическая ситуация и пути рационального природопользования. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 1996. – С. 218-219.

111. Лушников, Е.А. О зональности геодинамических процессов / Е.А. Лушников // Гидрогеология и карстоведение. – 1964. – В. 2. – С. 239-257.

112. Маккавеев, А.А. Словарь по гидрогеологии и инженерной геологии. 2-е изд. / А.А. Маккавеев. – М.: Недра, 1971. – 216 с.

113. Макрушин, А.В. Биологический анализ качества вод. / А.В. Макрушин. – Л.: ЗИН АН СССР, 1974. – 60 с.

114. Манихина, Р.К. Гидрохимическая характеристика поверхностных вод бассейнов р. Кубани и Кумы / Р.К. Манихина, В.С. Путинцева, Н.В. Веселовский // Гидрохимические материалы. – 1980. – Т. 77. – С. 3-7.

115. Маркова, О.И. Отражение темы техногенного воздействия на природную среду Воркутинского района Республики Коми в Экологическом атласе России / О.И. Маркова // ИнтерКарто. ИнтерГИС. – 2015. – Т. 21. – С.222-235. http://intercarto.msu.ru/jour/article /viewFile/175/174.pdf (дата обращения 12.04.2017 г.).

116. Матвеев, А.А. Коэффициент контрастности геохимических аномалий / А.А. Матвеев // Российская геологическая энциклопедия. – М.-СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2011. – Т. 2. – С. 141.

117. Матвеева, В.А. Оценка и снижение техногенного воздействия ОАО «Ковдорский ГОК» на поверхностные воды: дис. … канд. техн. наук: 25.00.36. / Матвеева Вера Анатольевна. – Санкт-Петербург, 2015. – 212 с.

118. Махинов, А.Н. Формирование склонов со смещающимися базисами денудации / А.Н. Махинов. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1985. – 124 с.

119. Методика экологической оценки качества поверхностных вод по соответствующим категориям / В.Д. Романенко, В.М. Жукинский, О.П. Оксиюк. – К.: Символ-Т, 1998. – 28 с.

120. Методические указания по разработке нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (с изменениями на 22 декабря 2016 года). Утверждены Приказом Росрыболовства от 4 августа 2009 года № 695.

121. Методы биоиндикации и биотестирования природных вод / Под ред. В.А. Брызгало, Т.А. Хоружей. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989. В.2. – 276 с.

122. Микаельсон, О. Результаты исследования качества воды в реке Кола в рамках российско-шведской программы KREP / О. Микаельсон, М.Н. Зуева, Н.Б. Пивоварова, Б.В. Ткаченко // Вестник МГТУ. – 2001. – Т. 4. – № 1. – С. 121-128.

123. Миноранский, В.А. Особо охраняемые природные территории Ростовской области: монография / В.А. Миноранский, О.Н. Дёмина. – Ростов н/Д.: Изд-во «ЦВВР», 2002. – 372 с.

124. Моисеенко, Т.И. Оценка качества вод и «здоровья» экосистем с позиций экологической парадигмы / Т.И. Моисеенко // Водное хозяйство России. – 2017. – № 3. – С. 104-124.

125. Моисеенко, Т.И. Антропогенно-индуцированные процессы в водах суши арктических регионов и критерии их оценки / Т.И. Моисеенко // Водные ресурсы. – 2018. – Т. 45. – № 4. – С. 421-432.

126. Моисеенко, Т.И. Водная экотоксикология в решении задач оценки качества вод и «здоровья» экосистем / Т.И. Моисеенко // Тезисы докладов Международной научной конференции, посвящённой 150-летию Севастопольской биологической станции – Института биологии южных морей имени А.О. Ковалевского и 45-летию НИС «Профессор Водяницкий» (13-18 сентября 2021 г. Севастополь, РФ). – Севастополь: ФИЦ ИнБЮМ, 2021. – С. 38-39.

127. Моисеенко, Т.И. Экотоксикологическая оценка последствий загрязнения вод р. Волги / Т.И. Моисеенко, Н.А. Гашкина, Ю.Н. Шарова, А.Г. Покоева // Водные ресурсы. – 2005. – Т. 32. – № 4. – С. 410-424.

128. Моргунов, Б.А. Методология учета экологического фактора в процессе выработки стратегии устойчивого развития Арктической зоны России : диссертация ... доктора географических наук : 25.00.36 / Моргунов Борис Алексеевич. – Санкт-Петербург, 2006. – 331 с.

129. Мохов, А.В. Влияние угольного комплекса на геоэкологическую ситуацию / А.В. Мохов, Б.И. Журбицкий, Г.К. Карасев, А.И. Дымна // Проблемы и перспективы комплексного освоения минеральных ресурсов Восточного Донбасса / Гл. ред. Г.Г. Матишов. – Ростов н/Д: изд-во ЮНЦ РАН, 2005. – С. 129-138.

130. Мумжу, В.А. Формирование режима органических веществ Нижней Волги / В.А. Мумжу, Э.И. Бесчетнова, О.В. Попова // Гидрохимические материалы. – 1987. – Т. 99. – С. 15-20.

131. Мячина, К.В. Анализ региональных экологических рисков (на примере Оренбургской области) / Мячина К. В. // География и природные ресурсы. – 2012. – №. 2. – С. 129-135.

132. Назарова, Л.Н. Шахтные воды восточной части Донецкого бассейна и некоторые вопросы происхождения их химического состава / Л.Н. Назарова // Гидрохимические материалы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1968. – Т. 47. – С. 99-109.

133. Национальный атлас России. Том. 2. Карта: Антропогенное воздействие в местах компактного проживания населения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: nationalatlas.ru. – (дата обращения 23.09.2021).

134. Никаноров, А.М. Гидрохимия: учебник / А.М. Никаноров. – Ростов-н/Д: «НОК», 2008. – 461 с.

135. Никаноров, А.М. Научные основы мониторинга качества вод / А.М. Никаноров. – СПб.: Гидрометеоиздат, 2005. – 576 с.

136. Никаноров, А.М. О некоторых фундаментальных понятиях теоретической гидрохимии / А.М. Никаноров // Материалы научно-практической конференции с международным участием «Современные фундаментальные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод России». Часть 1. – Ростов-на-Дону, 2009. – С. 158-161.

137. Никаноров, А.М. Региональная гидрохимия: Учебное пособие / А.М. Никаноров. – Ростовн/Д: Изд-во «НОК», 2011. – 388 с.

138. Никаноров, А.М. Пресноводные экосистемы в импактных районах России / А.М. Никаноров, В.А. Брызгало. – Ростов н/Д: изд-во «НОК», 2006. – 275 с.

139. Никаноров, А.М. Реки России. Часть I. Реки Кольского Севера (гидрохимия и гидроэкология) / А.М. Никаноров, В.А. Брызгало. – Ростов н/Д: изд-во «НОК», 2009. – 200 с.

140. Никаноров, А.М. Реки России. Часть II. Реки Европейского Севера и Сибири (гидрохимия и гидроэкология) / А.М. Никаноров, В.А. Брызгало. – Ростов- н/Д: Изд-во «НОК», 2010. – 296 с.

141. Никаноров, А.М. Реки России. Часть V. Реки Приазовья (гидрохимия и гидроэкология): монография / А.М. Никаноров, В.А. Брызгало, М.Ю. Кондакова. – Ростов н/Д: изд-во «НОК», 2012. – 316 с.

142. Никаноров, А.М. Антропогенная нагрузка на устьевую область р. Дон в современных условиях техногенного воздействия / А.М. Никаноров, В.А. Брызгало, Л.С. Косменко, М.Ю. Кондакова, О.С. Решетняк // Вода: химия и экология. – 2011. – № 1. – С. 4-10.

143. Никаноров, А.М. Роль речного притока растворенных химических веществ в антропогенной трансформации состояния водной среды устьевой области р. Волга / А.М. Никаноров, В.А. Брызгало, Л.С. Косменко, М.Ю. Кондакова, О.С. Решетняк // Вода: химия и экология. – 2010. – № 7. – С. 6-12.

144. Никаноров, А.М. Антропогенная трансформация экологического состояния речных экосистем Дальнего Востока / А.М. Никаноров, В.А. Брызгало, Л.С. Косменко, О.С. Решетняк // Вода: химия и экология. – 2012. – № 3 (март). – С. 10-20.

145. Никаноров, А.М. Реки России в условиях чрезвычайных экологических ситуаций / А.М. Никаноров, В.А. Брызгало, О.С. Решетняк. – Ростов н/Д: Изд-во «НОК», 2012. – 310 с.

146. Никаноров, А.М. Антропогенная трансформация экологического состояния и транспорт загрязняющих веществ по длине реки Кубань / А.М. Никаноров, В.А. Брызгало, О.С. Решетняк, Л.С. Косменко, М.Ю. Кондакова, О.С. Решетняк // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2013. – № 2. – С. 108-119.

147. Никаноров, А.М. Комплексная оценка поверхностных вод суши / А.М. Никаноров, В.П. Емельянова // Водные ресурсы. – 2005. – Т. 32. – № 1. – С.61-69.

148. Никаноров, А.М. Реки России. Часть 3. Реки Республики Татарстан (гидрохимия и гидроэкология) / А.М. Никаноров, С.Д. Захаров, В.А. Брызгало, Г.Н. Жданова. – Казань: Изд-во ИПК «Бриг», 2010. – 224 с.

149. Никаноров, А.М. Реки Российской Арктики в современных условиях антропогенного воздействия / А.М. Никаноров, В.В. Иванов, В.А. Брызгало. – Ростов н/Д: Изд-во «НОК», 2007. – 280 с.

150. Никаноров, А.М. Многолетняя изменчивость загрязненности воды и состояния речных экосистем различных широтных зон европейской части России / А.М. Никаноров, Л.И. Минина, В.А. Брызгало, Л.С. Косменко, М.Ю. Кондакова, О.С. Решетняк, А.О. Даниленко // Водные ресурсы. – 2016. – Т. 43. – № 5. – С. 515-527.

151. Никаноров, А.М. Оценка экологического риска антропогенного воздействия на речные экосистемы Кольского Севера / А.М. Никаноров, О.С. Решетняк

// Современные проблемы гидрохимии и формирования качества вод: материалы научной конференции, посвященной 90-летию со дня образования Гидрохимического института. – Ростов-на-Дону, 2010. – С. 247-250.

152. Никаноров, А.М. Экологически допустимые уровни воздействия на речные экосистемы Арктического региона / А.М. Никаноров, О.С. Решетняк, В.А. Брызгало, Л.С. Косменко // Метеорология и гидрология. – 2013. – № 3. – С. 85-93.

153. Никаноров, А.М. Обоснование необходимости разработки региональных критериев оценки качества воды и состояния водных экосистем / А.М. Никаноров, О.С. Решетняк, В.А. Брызгало, Л.С. Косменко // Сборник трудов V Международного конгресса «Чистая вода. Казань» 26-28 марта 2014 г.: науч. изд. – Казань: Типография ООО «Куранты», 2014. – С.149-152.

154. Никаноров, А.М. Совершенствование методологии оценки качества воды и состояния водных объектов с учетом их региональных особенностей / А.М. Никаноров, О.С. Решетняк, М.Ю. Кондакова // Тезисы докладов VII Гидрологического съезда, 2013. – СПб. Секция 3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.7hydro.ru. – (Дата обращения: 27.03.2016).

155. Никаноров, А.М. Оценка состояния гидробиоценоза на участках водных объектов Кольского Севера с высокой степенью загрязненности воды соединениями меди и никеля / А.М. Никаноров, Л.П. Соколова, Л.С. Косменко, О.С. Решетняк // Метеорология и гидрология. – 2009. – № 11. – С. 69-80.

156. Никаноров, А.М. Антропогенная нагрузка на устьевую область р. Северная Двина / А.М. Никаноров, Л.П. Соколова, О.С. Решетняк, М.Ю. Кондакова, А.О. Даниленко // Метеорология и гидрология. – 2010. – № 4. – С.75-84.

157. Никаноров, А.М. Внутриводоемные процессы и контроль качества природных вод. Серия «Качество вод» / А.М., Никаноров Н.М. Трунов. – СПб: Гидрометеоиздат, 1999. – 155 с.

158. Общая теория статистики: учебник / Под ред Р.А. Шмойловой. – 3-е изд. перераб. – М.: Финансы и Статистика, 2002. – 560 с.

159. Оксиюк, О.П. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши / О.П. Оксиюк, В.Н. Жукинский, Л.П. Брагинский, Г.Н. Линник, М.И. Кузьменко, В.Г. Кленус // Гидробиологический журнал. – 1993. – Т. 29. – № 4. – С. 62-74.

160. Охрана водных ресурсов, качества воды и водных экосистем (Конвенции и соглашения:un.org). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/ agenda21_ch18c.shtml.

161. Ошкадер, А.В. Оценка гидроэкологического риска на территории Керченского полуострова / А.В. Ошкадер, Л.Е. Подлипенская // Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире (ГЕОРИСК-2015). – 2015. – С. 286-291.

162. Перельман, А.И. Геохимия природных вод / А.И. Перельман – М.: «Наука», 1982. – 154 с.

163. Перельман, А.И. Геохимия ландшафта. Учебник / А.И. Перельман, Н.С. Касимов – М.: Изд-во МГУ, 1999. – 610 с.

164. Петин, В.Г. Малые дозы и проблемы синергического взаимодействия факторов окружающей среды / В.Г. Петин, Г.П. Жураковская, А.Г. Пантюхина, А.В. Рассохина // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1999. – 39. – № 1. – С. 113-126.

165. Петров, О.В. Геохимическая карта России – принципы составления и металлогенические следствия / О.В. Петров, А.Ф. Морозов, Г.М. Беляев, Ю.М. Эричек, Ю.Ю. Юрченко // Региональная геология и металлогения. – 2013. – № 55. – С. 55-66.

166. Петрова, В.А. Состояние водных объектов в зоне влияния горно-перерабатывающих предприятий на примере ОАО «Ковдорский ГОК» / В.А. Петрова, М.А. Пашкевич // Научный вестник Московского государственного горного университета. – 2011. – № 9. – С. 67-71.

167. Пленкина, А.К. Оценка экологического статуса водоемов на основе построения композитных индексов / А.К. Пленкина, В.В. Дмитриев, И.В. Федорова, А.Н. Огурцов // Успехи современного естествознания. – 2020. – № 11. – С. 101-107.

168. Почвенно-геохимическая карта РФ: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://geographyofrussia.com/pochvenno-geoximicheskaya-karta/ (дата обращения 23.09.2016).

169. Предложения к рекомендациям по разработке региональных критериев оценки современного состояния (качества) пресноводных экосистем на территории деятельности ФГБУ «Мурманское УГМС», «УГМС Республики Татарстан», «Приволжское УГМС» и «Астраханский ЦГМС" [Электронный ресурс]: отчет о НИР

(заключительный): 1.7.36 / ФГБУ «Гидрохимический институт»; отв. исполн. В.А. Брызгало. Ростов н/Д, 2013. – 95 с. : табл. – № ГР 01201161145.

170. Приваленко, В.В. Загрязненность поверхностных вод / В.В. Приваленко // Проблемы и перспективы комплексного освоения минеральных ресурсов Восточного Донбасса. Гл. ред. Г.Г. Матишов. – Ростов н/Д: изд-во ЮНЦ РАН, 2005. – С. 143-147.

171. Примак, Е.А. Интегральная оценка устойчивости и экологического благополучия водных объектов. Автореф …. канд. геогр. наук: 25.00.36 / Примак Екатерина Алексеевна. – СПб, 2009. – 24 с.

172. Природные ресурсы Ростовской области. – Ростов н/Д, 2003. – 151 с.

173. Пряжинская, В.Г. К вопросу определения нормативов допустимых воздействий на водные объекты и допустимых сбросов сточных вод. / В.Г. Пряжинская // В сб.: Стратегические проблемы водопользования России: сборник научных трудов. Отв. ред. проф. В.Г. Пряжинская. ИВП РАН; Северо-Кавказский филиал РосНИИВХ. – Новочеркасск: НОК, 2008. – С. 79-92.

174. Пряжинская, В.Г. Методы и пути решения проблем управления водопользованием в Российской федерации / В.Г. Пряжинская // Электронный журнал «Местное устойчивое развитие». – Volume 8. – Date Published 09/2013. (Режим доступа: fsdejournal.ru. – (Дата обращения 12.04.2021 г.).

175. Р 52.24.661-2004. Рекомендации. Оценка риска антропогенного воздействия приоритетных загрязняющих веществ на поверхностные воды суши. – М.: Метеоагентство Росгидромета, 2006. – 26 с.

176. Р 52.24.776-2012. Рекомендации. Оценка антропогенной нагрузки и риска воздействия на устьевые области рек с учетом их региональных особенностей. Разработчики: А.М. Никаноров, В.А. Брызгало, Л.С. Косменко, О.С. Решетняк. – Ростов-на-Дону, Росгидромет, ФГБУ «ГХИ», 2012. – 31 с.

177. Разработка и развитие методологии региональных подсистем мониторинга антропогенной нагрузки и риска воздействия для устьевых областей крупных рек России [Текст]: отчет о НИР (заключительный) / Гидрохимический институт; рук. Л.И. Минина; исполн.: Л.С. Косменко [и др.]. – Ростов н/Д., 2016. – 179 с. – № ГР АААА-Б16-216110340112-0. – Инв. № 1183-арх.

178. Разработка научно-методических основ выявления фоновых концентраций химических веществ и гидрогеохимических аномалий в речных водах ЕТР с учетом

специфики природно-территориальных комплексов, а также антропогенного воздействия [Текст]: отчет о НИР (этап 1) (промежут.) / Гидрохимический институт; рук. Л.И. Минина; исполн.: Л.С. Косменко [и др.]. – Ростов н/Д., 2016. – 331 с. – № ГР АААА-Б16-216060770020-3. – Инв. № 1182-арх.

179. Разработка научно-методических основ выявления фоновых концентраций химических веществ и гидрогеохимических аномалий в речных водах ЕТР с учетом специфики природно-территориальных комплексов, а также антропогенного воздействия [Текст]: отчет о НИР (этап 2) (промежут.) / Гидрохимический институт; рук. Л.И. Минина; исполн.: Л.С. Косменко [и др.]. – Ростов н/Д., 2016. – 179 с. – № ГР АААА-Б16-216110340112-0. – Инв. № 1185-арх.

180. РД 52.24.309-2016. Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши. – Ростов-на-Дону: Росгидромет, ФГБУ «ГХИ», 2011. – 108 с.

181. РД 52.24.620-2000 Методические указания. Охрана природы. Гидросфера. Организация и функционирование специальной подсистемы мониторинга антропогенного эвтрофирования пресноводных экосистем. – СПб.: Гидрометеоиздат, 2001. – 40 с.

182. РД 52.24.633-2002. Методические указания. Методические основы создания и функционирования подсистемы мониторинга экологического регресса пресноводных экосистем. – СПб.: Гидрометеоиздат, 2003. – 32 с.

183. РД 52.24.643-2002. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод суши по гидрохимическим показателям. – СПб.: Гидрометеоиздат, 2003. – 49 с.

184. Реймерс, Н.Ф. Словарь терминов и понятий, связанных с охраной живой природы / Н.Ф. Реймерс, А.В. Яблоков. – М.: Наука, 1982. – 144 с.

185. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.12. Нижнее Поволжье и Западный Казахстан. Выпуск 1. Бассейн р. Волги ниже г. Чебоксары. – Л.: Гидрометеоиздат, 1971. – 399 с.

186. Реутова, Н.В. Микроэлементный состав вод верховьев реки Кубань / Н.В. Реутова, Т.В. Реутова, Ф.Р. Дреева, А.М. Хутуев // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2018. – № 3 (83). – С. 48-52.

187. Реутова, Н.В. Микроэлементы в поверхностных водах бассейна реки Чегем

/ Н.В. Реутова, Т.В. Реутова, Ф.Р. Дреева, А.М. Хутуев // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2019. – № 5 (91). – С. 57-63.

188. Реутова, Т.В. Проявление стронциевой аномалии в поверхностных водах бассейна р. Баксан / Т.В. Реутова, Ф.Р. Дреева, Н.В. Реутова, А.Х. Хутуев // В книге: Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Науч. редакторы: И.А. Керимов, В.А. Широкова, В.Б. Заалишвили, В.И. Черкашин. – Москва, 2021. – С. 413-416.

189. Реутова, Т.В. Гидрохимические аномалии в водных объектах национального парка «Приэльбрусье» / Т.В. Реутова, Н.В. Реутова, Ф.Р. Дреева, А.М. Хутуев, А.А. Керимов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2022. – Т. 6 (110). – С. 144–157.

190. Решетняк, О.С. Антропогенная нагрузка и изменчивость состояния экосистем на различных участках реки Ока / О.С. Решетняк // Вода: химия и экология. – 2018. – № 7-9. – С. 110-118.

191. Решетняк, О.С. Изменчивость экологического состояния речных экосистем Европейской территории России под воздействием антропогенной нагрузки / О.С. Решетняк // Научное обеспечение реализации «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года»: Сборник научных трудов. Т.1. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. – С.351-358.

192. Решетняк, О.С. Ландшафтная изменчивость химического состава речных вод Европейской части России / О.С. Решетняк // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири (в пяти томах). Том 2. Изучение и мониторинг процессов в почвах и водных объектах. Под редакцией академика РАН В.Г. Сычева, Л. Мюллера. – М.: изд-во ФГБНУ «ВНИИ агрохимии», 2018. – С. 359-364.

193. Решетняк, О.С. Методические аспекты оценки изменчивости состояния речных экосистем / О.С. Решетняк // Актуальные проблемы наук о Земле. Сборник трудов научной конференции студентов и молодых ученых с международным участием. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2015. – С. 407-409.

194. Решетняк, О.С. Многолетняя изменчивость химического состава и качества воды в бассейне реки Дон / О.С. Решетняк // Грозненский естественнонаучный бюллетень. – 2023. – Том 8. – №1 (31). – С. 52-60.

195. Решетняк, О.С. Оценка последствий антропогенного воздействия на экологическое состояние рек в Европейской части России / О.С. Решетняк // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири (в пяти томах). Том 2. Изучение и мониторинг процессов в почвах и водных объектах. Под редакцией академика РАН В.Г.Сычева, Л. Мюллера. – М.: изд-во ФГБНУ «ВНИИ агрохимии», 2018. – С. 354-359.

196. Решетняк, О.С. Оценка состояния бактериопланктона водных объектов Европейского Севера / О.С. Решетняк // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2009. – № 12. – С. 343-345.

197. Решетняк, О.С. Оценка уровня экологического риска в речных экосистемах арктической зоны России / О.С. Решетняк // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2020. – № 3. – С. 69-78.

198. Решетняк, О.С. Оценка экологического риска воздействия на устьевые экосистемы крупных рек / О.С. Решетняк // 15-й Международный научно-промышленный форум «Великие реки-2013». Труды конгресса в 2 томах. Т. 1. – Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т. Н. Новгород: ННГАСУ, 2013. – С. 148-150.

199. Решетняк, О.С. Оценка эффекта антропогенного воздействия и экологического риска в экосистеме Нижней Волги / О.С. Решетняк // Труды Института Биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН [отв. Ред. А.В. Крылов]. – Борок: Институт Биологии внутренних вод, 2018. – В. 83 (86). – С. 23-31.

200. Решетняк, О.С. Пространственно-временная изменчивость состояния фитопланктона реки Северский Донец / О.С. Решетняк // Электронное периодическое издание ЮФУ «Живые и биокосные системы». – 2013. – № 4. URL:http://www.jbks.ru/archive /issue-4/article-18.

201. Решетняк, О.С. Пространственно-временная изменчивость структуры бентосных сообществ и состояния экосистем Нижнего Дона // Вода: химия и экология. – 2018. – № 4-6 – С. 36-44.

202. Решетняк, О.С. Региональные особенности химического состава воды речных экосистем Европейской территории России / О.С. Решетняк // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов: Труды Четвертой Всероссийской научной конференции с международным участием, Москва, 15-18 сентября 2015 г. / ИВП РАН: отв. ред. Болгов М.В. – Москва: ИВП РАН, 2015. – С. 197-199.

203. Решетняк, О.С. Трансформация речных экосистем Европейского Севера России в условиях антропогенного воздействия: дисс. … канд. геогр. наук: 25.00.36 / Решетняк Ольга Сергеевна. – Ростов-на-Дону, 2010. – 174 с.

204. Решетняк, О.С. Экологические последствия загрязнения речных экосистем России / О.С. Решетняк // Вода Magazine. – 2016. – № 6 (106). – С. 52-53.

205. Решетняк, О.С. Экологические последствия химического загрязнения речных экосистем Европейской территории России / О.С. Решетняк // Чистая вода России-2015: сборник материалов XIII международного симпозиума и выставки «Чистая вода России». – Екатеринбург: ФГУП РосНИИВХ, 2015. – С. 276-281.

206. Решетняк, О.С. Экосистемный подход к оценке состояния водных объектов (на примере малых рек юга России) / О.С. Решетняк // Водные ресурсы России: современное состояние и управление: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, г. Сочи, 08-14 октября 2018 г. В 2-х томах. – Том II. – Новочеркасск: Лик, 2018. – С. 224-230.

207. Решетняк, О.С. Методологические вопросы оценки качества воды рек горно-степных ландшафтов в контексте устойчивого развития территорий / О.С. Решетняк, Г.Г. Бабаян // Степная Евразия – устойчивое развитие: сборник материалов международного форума / отв. ред. К.Ш. Казеев; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог: издательство Южного федерального университета, 2022. – С. 152-154.

208. Решетняк О.С. Элементы прогнозирования динамики качества речных вод // Водные ресурсы в условиях глобальных вызовов: экологические проблемы, управление, мониторинг. Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2023. – Т. 2. – С. 107-112.

209. Решетняк, О.С. Многолетняя изменчивость содержания соединений кадмия и свинца в речных экосистемах России / О.С. Решетняк, В.А. Брызгало, Л.С. Косменко // География и природные ресурсы. – 2017. – № 1. – С. 71-80.

210. Решетняк, О.С. Многолетние и сезонные изменения развития фитопланктона и оценка состояния реки Ока в районе г. Дзержинск / О.С. Решетняк, Ю.С. Гришанова // Вода: химия и экология. – 2016. – № 3. – С. 14-21.

211. Решетняк, О.С. Оценка состояния водных экосистем по интегральным гидрохимическим показателям в государственном мониторинге состояния и загрязнения окружающей среды / О.С. Решетняк, А.О. Даниленко, М.Ю. Кондакова, Л.С. Космен ко // Метеорология и гидрология. – 2023. – № 5. – С. 53-63.

212. Решетняк, О.С. Природные концентрации химических веществ и гидрохимические аномалии в речных водах Европейской части России в пределах природно-территориальных комплексов / О.С. Решетняк, А.О. Даниленко, М.Ю. Кондакова, Л.С. Космен ко // Водные ресурсы: новые вызовы и пути решения. Сборник научных трудов. – Новочеркасск: Лик, 2017. – С.421-426.

213. Решетняк, О.С. Микроэлементы в речных водах Восточного Донбасса / О.С. Решетняк, В.Е. Закруткин, Е.В. Гибков // Геоэкологические проблемы углепромышленных территорий. Сборник трудов научной конференции с международным участием; ЮФУ. – Ростов-на-Дону: Издательство ЮФУ, 2015. – С. 283-295.

214. Решетняк, О.С. Тенденции изменчивости химического состава и степени загрязненности воды реки Кубань / О.С. Решетняк, Р.С. Комаров // Вода и экология: проблемы и решения. – 2021. – № 1 (85). – С. 30-40.

215. Решетняк, О.С. Тенденции изменчивости химического состава речных вод Европейской части арктической зоны России / О.С. Решетняк, М.Ю. Кондакова, А.О. Даниленко, Л.С. Космен ко, В.Н. Решетняк // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2019. – № 1. – С.86-94.

216. Решетняк, О.С. Оценка уровня экологического риска в речных экосистемах Европейской части Арктической зоны России / О.С. Решетняк, Л.С. Космен ко, А.О. Даниленко // Расширенные тезисы докладов II Всероссийской научной конференции с международным участием «Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды. Экосистемы и климат Арктической зоны», Москва, 25-27 ноября 2020 г. – Москва: ИГКЭ. – С.274-277.

217. Решетняк, О.С. Основные тенденции изменчивости концентраций химических веществ в речных водах Европейской территории России / О.С. Решетняк, Л.С. Космен ко, А.О. Даниленко, М.Ю. Кондакова // Тезисы докладов Всероссийской научной конференции «Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды. Основные результаты и пути развития». Москва, 20-22 марта 2017 г. Отв. сост.

А.А. Трунов, П.Д. Полумиева, А.А. Романовская. [Электронный ресурс] – М.: ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН», 2017. – С. 500-501.

218. Решетняк, О.С. Тенденции изменчивости химического состава и качества воды притоков Нижней Волги с учетом антропогенного воздействия и климатических изменений / О.С. Решетняк, Л.С. Косменко, А.О. Даниленко // Метеорология и гидрология. – 2022. – № 1. – С. 95-104.

219. Решетняк, О.С. Антропогенная нагрузка по модулю химического стока и качество воды на замыкающих створах рек арктической зоны России / О.С. Решетняк, Л.С. Косменко, А.А. Коваленко // Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2022. – № 3. – С.3-17.

220. Решетняк, О.С. Гидрохимия и охрана водных ресурсов. Ростов-на-Дону / О.С. Решетняк, А.М. Никаноров. – Ростов-на-Дону, Таганрог: изд-во ЮФУ, 2018. – 134 с.

221. Решетняк, О.С. Антропогенная трансформация водной экосистемы Нижней Волги / О.С. Решетняк, А.М. Никаноров, В.А. Брызгало, Л.С. Косменко // Водные ресурсы. – 2013. – Т. 40. – № 6. – С. 623-632.

222. Решетняк, О.С. Современный химический состав речных вод на территории Восточного Донбасса / О.С. Решетняк, А.М. Никаноров, В.Е. Закруткин // Материалы научной конференции с международным участием «Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод», Ростов-на-Дону, 8-10 сентября 2015 г. Часть 2. – Ростов-на-Дону. – 2015. – С. 263-267.

223. Решетняк, О.С. Оценка гидроэкологического риска в бассейне реки Ока / О.С. Решетняк, А.М. Никаноров, М.М. Трофимчук, Ю.С. Гришанова // Вода и экология: проблемы и решения. – 2017. – №. 3. – С. 158-170.

224. Решетняк, О.С. Гидроэкологические проблемы водных объектов в бассейне Нижнего Дона / О.С. Решетняк, А.Н. Решетняк // Глобальные и региональные аспекты устойчивого развития: современные реалии**.** Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции (Грозный, 23-24 октября 2020г.). – Грозный: издательство ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет», 2020. – С. 135-137.

225. Розенберг, Г.С. Опыт экологического нормирования антропогенного воздействия на качество воды (на примере водохранилищ Средней и Нижней Волги). / Г.С. Розенберг, И.А. Евланов, В.А. Селезнёв, А.К. Минеев, А.В. Селезнёва,

В.К. Шитиков // В кн.: Вопросы экологического нормирования и разработка системы оценивания состояния водоемов. Отв. ред.: академик РАН Д.С. Павлов, чл.-корр. РАН Г.С. Розенберг, д.б.н. М.И. Шатуновский. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. – С. 5-29.

226. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. В.А. Абакумова. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. – 318 с.

227. Рыбкина, И.Д. Оценка антропогенной нагрузки на водосборную территорию Верхней и Средней Оби / И.Д. Рыбкина, Н.В. Стоящева // Мир науки, культуры и образования. – 2010. – № 6 (25). – Ч. 2. – С. 295-299.

228. Рыбкина, И.Д. Методика зонирования территории речного бассейна по совокупной антропогенной нагрузке (на примере Обь-Иртышского бассейна) / И.Д. Рыбкина, Н.В. Стоящева, Н.Ю. Курепина // Водное хозяйство России. – 2011. – № 4. – С. 42-52.

229. Сает, Ю.Е. Геохимия окружающей среды. / Ю.Е. Сает, Б.А. Ревич, Е.П. Янин, Р.С. Смирнова, И.Л. Башаркевич, Т.Л. Онищенко, Л.Н. Павлова, Н.Я. Трефилова, А.И. Ачкасов, С.Ш. Саркисян. – М.: Недра, 1990. – 335 с.

230. Савин, И.Ю. Карта распаханности почв России / И.Ю. Савин, В.С. Столбовой, С.А. Аветян, Е.А. Шишконакова // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2018. – В. 94. – С. 38-56.

231. Сазонов, А.Д. Изменчивость гидрохимических характеристик рек Сал и Западный Маныч в условиях современного антропогенного воздействия и климатических изменений (в пределах Ростовской области) / А.Д. Сазонов, О.С. Решетняк, В.Е. Закруткин // Наука Юга России. – 2021. – Т.17. – № 1. – С. 24-36.

232. Селезнёва, А.В. Антропогенная нагрузка на реки от точечных источников загрязнения / А.В. Селезнёва // Известия Самарского научного центра РАН. – 2003. – № 2. – Т. 5. – С. 268–277.

233. Семенченко, В.П. Экологическое качество поверхностных вод / В.П. Семенченко, В. И. Разлуцкий. – Минск: Беларус. наука, 2010. – 329 с.

234. Словарь по геологии нефти и газа. – Л.: Недра, 1988. – 679 с.

235. Смирнов, М.П. Географическое распространение и региональные особенности органических веществ и минерализации речных вод средней тайги СССР / М.П. Смирнов // Гидрохимические материалы. – 1975. – Том 64. – С. 20-42.

236. Смирнов, М.П. Минерализация воды и содержание органических веществ (по окисляемости) в воде рек северной тайги СССР / М.П. Смирнов // Гидрохимические материалы. – 1974. – Т. 61. – С. 14-31.

237. Смирнов, М.П. Распределение и особенности органических веществ речных вод тундровой зоны / М.П. Смирнов // Гидрохимические материалы. – 1972. – Т. 53. – С. 71-85.

238. Смирнов, М.П. Содержание и режим органических веществ и минерализации речных вод зоны южной тайги и смешанных лесов СССР / М.П. Смирнов // Гидрохимические материалы. – 1977. – Т. 66. – С. 68-86.

239. Смирнов, М.П. Закономерности распределения органического вещества в речных водах лесотундровой зоны / М.П. Смирнов, М.Н. Тарасов // Гидрохимические материалы. – 1973. – Т. 57. – С. 39-55.

240. Смыжова, Е.С. Учет влияния неэквидистентности исходной информации на оценку биогенного загрязнения рек на примере реки Великая / Е.С. Смыжова, В.А. Шелутко // Материалы междун. науч.-практ. конф. «Географическое образование и наука в России: история и современное состояние». – СПб.: ВВМ, 2010. – С. 862 -871.

241. Соколов, А.А. Гидрография СССР / А.А. Соколов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1952. – 287 с.

242. Соколов, С.А. Специальные эксперименты для апробации и верификации расчетной модели прогноза качества воды в слабопроточных водоемах / С.А. Соколов // Экология и промышленность России. 2013. – № 5. – С. 47-51.

243. Соколова, С.А. Актуальные проблемы экологического нормирования качества воды рыбохозяйственных водных объектов. / С.А. Соколова // В кн.: Вопросы экологического нормирования и разработка системы оценивания состояния водоемов. Отв. ред.: акад. РАН Д.С. Павлов, чл.-корр. РАН Г.С. Розенберг, д.б.н. М.И. Шатуновский. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. – С. 56-68.

244. Соромотин, А.В. Воздействие добычи нефти на таежные экосистемы Западной Сибири : монография / А.В. Соромотин. – Тюмень: Изд-во Тюменского гос. ун-та, 2010. – 319 с.

245. Стоящева, Н.В. Антропогенная нагрузка на водные объекты Верхней Оби в разные по водности периоды: динамика и прогноз / Н.В. Стоящева // Водное хозяйство России. – 2020. – № 3. – С. 52-67.

246. Стратегические проблемы водопользования России: сборник научных трудов. / Отв. ред. проф. В.Г. Пряжинская. – Новочеркасск: НОК, 2008. – 419 с.

247. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна рек Большой и Малый Узень. Книга 1. Общая характеристика речного бассейна. – Утверждена приказом Нижне-Волжского бассейнового водного управления от «01» сентября 2014 г. № 142.

248. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Волга. Книга 2. Оценка экологического состояния и ключевые проблемы бассейна реки Волга // ООО «ВЕД», Рук. Е.М. Мацегорина. – М.: ООО «ВЕД», 2014. – 98 с.

249. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Волга ниже Рыбинского водохранилища до впадения Оки. Книга 2. Оценка экологического состояния и ключевые проблемы речного бассейна. – Утверждена приказом Верхне-Волжского БВУ от «15» декабря 2014 г. № 40.

250. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Кама. Книга 1. Общая характеристика речного бассейна. – Утверждена приказом Камского БВУ Федерального агентства водных ресурсов от 07.05.2014, № 116.

251. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Луга и рек бассейна Финского залива от северной границы бассейна реки Луги до южной границы бассейна реки Невы. Книга 2. Оценка экологического состояния и ключевые проблемы речного бассейна. – Утверждена Приказом Невско-Ладожского бассейнового водного управления Федерального агентства водных ресурсов от «07» октября 2015 г. № 132.

252. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Мезень. Приложение 2. Сводная пояснительная записка. – Утверждена приказом Двинско-Печорского БВУ Федерального агентства водных ресурсов от «12» ноября 2014 г. № 133 п/д.

253. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Нева. Книга 2. Оценка экологического состояния и ключевые проблемы речного бассейна. – Утверждена приказом Невско-Ладожского БВУ Федерального агентства Водных ресурсов от «28» мая 2015 г. № 63.

254. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Ока. Сводная пояснительная записка. – Утверждена приказом Московско-Окского

БВУ Федерального агентства Водных ресурсов от «11» сентября 2015 г. № 240.

255. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Печора. Книга 1. Общая характеристика речного бассейна. – Утверждена приказом Двинско-Печорского БВУ Федерального агентства Водных ресурсов от «08» мая 2015 г. № 42 п/д. –165 с.

256. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Северная Двина. Оценка воздействия на окружающую среду по бассейну реки Северная Двина / ГК № С-08-09 от 08.10.2008.

257. Схема комплексного использования и охраны водных объектов рек Кольского полуострова, впадающих в Баренцево море (Российская часть бассейнов). Книга 1. Общая характеристика речного бассейна. – Утверждено Приказом Двинско-Печорского бассейнового водного управления Федерального агентства Водных ресурсов от 18 марта 2015 г. № 27 п/д. – 93 с.

258. Третьяков, В.Ю. Методология выбора параметров водных объектов для интегральной оценки их экологического статуса на основании имитационного моделирования / В.Ю. Третьяков, В.В. Дмитриев, С.М. Клубов // В книге: Современные проблемы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды на пространстве СНГ. Сборник тезисов Междун. научно-практ. конференции, посвященной 90-летию РГГМУ, 2020. – С. 551-553.

259. Троицкий, В.А. Гидрологическое районирование СССР / В.А. Троицкий // Труды Комиссии по естественно-историческому районированию СССР. – Т. II. – Вып. ЗМ. – Л., 1948. – 112 с.

260. Федоров, В.Д. Количественные подходы к проблеме оценки нормы и патологии экосистем / В.Д. Федоров, В.Б. Сахаров, А.П. Левич // Человек и биосфера. – М.: Изд-во МГУ, 1982. – В. 6. – С. 3-42.

261. Физико-географическое районирование СССР. Характеристика территориальных единиц / Под ред. проф. Н.А. Гвоздецкого. – М.: Издательство МГУ, 1968. – 578 с.

262. Форощук, В.П. Водоохранная деятельность и экологическое нормирование качества водной среды / В.П. Форощук // Гидробиологический журнал. – 1979. – Т. 15. – № 6. – С. 3-12.

263. Хоменко, А.Н. Внутригодовые изменения содержания органических кислот в воде р. Дон / А.Н. Хоменко, И.А. Гончарова // Гидрохимические материалы. – 1969. – Т. 52. – С.17-24.

264. Цееб, Я.Я. О предельно допустимых концентрациях биогенных веществ в воде водоемов / Я.Я. Цееб, А.И. Денисова, А.Д. Приймаченко. – Киев: «Наукова думка», 1978. – 19 с.

265. Шарапова, Е.В. Оценка состояния поверхностных и поземных вод Владимирской области / Е.В. Шарапова // Вестник ТГУ. – 2014. – Т.19 (5). – С. 1474-1476.

266. Шевченко, А.О. О формировании гипогенных гидрогеохимических аномалий соединений азота / А.О. Шевченко. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://masters.donntu.org/2005/ggeo/basantseva/library/publ5.htm (дата обращения 23.09.2016).

267. Шемет, С.Ф. Экологическое состояние малых рек Ростовской области / С.Ф. Шемет, Е.Д. Павлюкова, В.И. Кривошей // Рациональное использование природных ресурсов: специфика и экономические условия формирования. Материалы научно-практической конференции. Е.Г. Мещанинова (ответ. ред.). – Новочеркасск: издательство: «НОК», 2015. – С. 127-131.

268. Шитиков, В.К. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации / В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг, Т.Д. Зинченко. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.

269. Шуйский, В.Ф. Биоиндикация качества водной среды, состояния пресноводных экосистем и их антропогенных изменений / В.Ф. Шуйский, Т.В. Максимова, Д.С. Петров // Сб. научн. докл. VII междунар. конф. «Экология и развитие Северо-Запада России». – СПб.: Изд-во МАНЭБ, 2002. – С. 45-67.

270. Щерба, В.А. Оценка нагрузки сточными водами на водотоки бассейна реки Москвы / В.А. Щерба, Е.А. Абрамова // Методы экологических исследований. – 2011. – № 6. – С. 116-124.

271. Экологический атлас Ростовской области / Под ред. В.Е. Закруткина. – Ростов н/Д: изд-во СКНЦ ВШ, 2000. – 120 с.

272. Экологический вестник Дона «О состоянии окружающей среды и природных ресурсов в Ростовской области в 2015 году». – Воронеж: ООО «МС», 2016. – 371 с.

273. Янин, Е.П. Техногенные речные илы (условия формирования, вещественный состав, геохимические особенности) / Е.П. Янин. – М.: НП «АРСО», 2018. – 415 с.

274. Янин, Е.П. Региональная природная неоднородность химического состава поверхностных вод суши и необходимость ее учета при оценках их экологического состояния и интенсивности техногенного загрязнения / Е.П. Янин, В.Н. Кузьмич, О.М. Иваницкий // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. – 2016. – № 6. – С. 3-72.

275. Akhtar, N. Modification of the Water Quality Index (WQI) Process for Simple Calculation Using the Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) Method: A Review / N. Akhtar, M.I.S. Ishak, M.I. Ahmad, K. Umar, M.S. Md Yusuff, M.T. Anees, A. Qadir, Y.K. Ali Almanasir // Water. – 2021. – Vol. 13. – P. 905.

276. Al-Kareem, Shahad Abd. Statistical analysis for water quality index for Shatt-Al-Hilla river in Babel city / Shahad Abd Al-Kareem, ALKizwini Rasha Salah // Water Practice and Technology. – 2022. – Vol. 17 (2). – Pp. 567-586.

277. Babayan, G. Comparative Assessment of River Water Quality in Mountain Regions of Russia and Armenia / G. Babayan, O.S. Reshetnyak, V.E. Zakrutkin // Water Resources. – 2021. – Vol. 48. – No. 1. – Pp. 102-110.

278. Banda, T. D. Development of a Universal Water Quality Index (UWQI) for South African River Catchments / T.D. Banda, M. Kumarasamy // Water. – 2020. – Vol. 12(6). – P. 1534.

279. Barbulescu, A. Assessing Water Quality by Statistical Methods / A. Barbulescu, C.S. Dumitriu // Water. – 2021. – Vol. 13. – P. 1026.

280. Baron, J.S. Sustaining Healthy Freshwater Ecosystems / J.S. Baron, N.L. Poff // Water Resources Update. – 2004. – Issue 127. – Pp. 52-58.

281. Bilgin, Ayla. Evaluatijn of surface water quality by using the Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) method and discriminant analysis method: a case study Coruch River Basin / Ayla Bilgin // Environmental Monitoring and Assessment. – 2018. – Vol. 190. – Article number: 554.

282. Cantoni, B. A Risk-Based Approach for Contaminants of Emerging Concern in Drinking Water Production and Distribution Chain. In: Antonelli, M., Della Vecchia, G. (eds) Civil and Environmental Engineering for the Sustainable Development Goals. SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology / B. Cantoni // Springer. – 2022. – Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-99593-5_1

283. Carter, J.L. Analytical approaches used in stream benthic macroinvertebrate biomonitoring programs of State agencies in the United States / J.L. Carter, V.H. Resh // U.S. Geological Survey Open File Report. – 2013. – Vol. 1129. – 50 p.

284. Chidiac, Sandra. A comprehensive review of water quality indices (WQIs): history, models, attempts and perspectives / Chidiac Sandra, Najjar Paula El, Ouaini Naim, Rayess Youssef El, Azzi Desiree El // Rev Environ Sci Biotechnol. – 2023. – Vol. 22. – Pp. 349-395.

285. Crossman, N.D. Status of the aquatic ecosystems of the Murray-Darling Basin and a framework for assessing the ecosystem services they provide. An interim report to the Murray-Darling Basin Authority from the CSIRO Multiple Benefits of the Basin Plan Project / N.D. Crossman, P. Rustomji, A. Brown, C. Pollino, M. Colloff, R. Lester, A. Arthur, T. Doody, I. Jolly, R. Bark, J. Kandulu, S. Liu and R.K.Schmidt // CSIRO: Water for a Healthy Country National Research Flagship, 2011. https://www.csiro.au

286. Davies, P.E. The Sustainable Rivers Audit: assessing river ecosystem health in the Murray-Darling Basin, Australia / P.E. Davies, N.D. Crossman, P. Rustomji, A. Brown, C. Pollino, M. Colloff, R. Lester, A. Arthur, T. Doody, I. Jolly, R. Bark, J. Kandulu, S. Liu, R.K. Schmidt // Marine and Freshwater Research. – 2010. – Vol. 61(7). – Pp. 764-777.

287. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy Official Journal L 327, 22/12/2000. – Pp. 1-73.

288. Directive 2008/32/EC of the European Parliament and of the Council of 11 March 2008 amending Directive 2000/60/EC establishing a framework for Community action in the field of water policy, as regards the implementing powers conferred on the Commission. – 77 p.

289. Dobiesz, N.E. Metrics of ecosystem status for large aquatic systems – A global comparison / N.E. Dobiesz, E. Hecky Robert, B. Johnson Timothy, Jouko Sarvala, John M.

Dettmers, Maiju Lehtiniemi, Lars G. Rudstam, Charles P. Madenjian, Frans Witte // Journal of Great Lakes Research. – 2010. – Vol. 36. – Pp. 123-138.

290. Dzhamalov, R.G. Pollution Degree of the Don River Water / R.G. Dzhamalov, A.E. Kosolapov, K.G. Vlasov, K.G. Myagkova, O.S. Reshetnyak, T.I. Safronova // Water Resources. – 2019. – Vol. 46(1). – Pp. S1-S10.

291. Dzhamalov, R.G. Space-Time Analysis of Hydrochemical Composition and Pollution of Water in the Northern Dvina Basin / R.G. Dzhamalov, A.A. Mironenko, K.G. Myagkova, O.S. Reshetnyak, T.I. Safronova // Water Resources. – 2019. – Vol. 46(2). – Pp. 188-198.

292. Dzhamalov, R.G. The Regime of Water and Chemical Runoff in the Upper Volga Basin under Global Warming / R.G. Dzhamalov, O.S. Reshetnyak, T.I. Safronova, K.G. Myagkova, K.G. Vlasov // Water Resources. – 2018. – Vol. 45(2). – Pp. S35-S43.

293. Dzhamalov, R.G. The Space and Time Variations of Water Quality and Water Pollution Dynamics in the Oka Basin / R.G. Dzhamalov, K.G. Vlasov, K.G. Myagkova, O.S. Reshetnyak, T.I. Safronova // Water Resource. – 2019. – Vol. 46(1). – Pp. S74-S84.

294. Entekhabi, D. An agenda for land surface hydrology research and call for the second international hydrological decade / D. Entekhabi, Gh.R. Asrar, A.K. Betts, K.J. Beven, R.L. Bras, Ch.J. Duffy, T. Dunne, R.D. Koster, D.P. Lettenmaier, D.B. McLaughlin, W.J. Shuttleworth, M.T. van Genuchten, M.-Y. Wei, E.F. Wood // Bull. Amer. Meteorol. Soc. – 1999. – Vol. 80(10). – Pp. 269-293.

295. Environmental Quality Objectives for Hazardous Substances in Aquatic Environment. Berlin: Unweltbundesamt, 2001. – 181 p.

296. GEMI – Integrated Monitoring Initiative for SDG 6. Step-by-step monitoring methodology for indicator 6.4.2. Version: 4 February 2019 rev. https://www.unwater.org/publications/step-step-methodology-monitoring-water-stress-6-4-2/ (access date 19.04.2021).

297. Hakanson, L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach / L. Hakanson // Water research. – 1980. – Vol. 14. – №. 8. – Pp. 975-1001.

298. Handbook of Ecological Indicators for Assessment of Ecosystem Health / Edited by Sven E. Jørgensen, Liu Xu, Robert Costanza, Fu-Lui Xu, 2005. – 431 p.

299. Hoekstra, A.Y. The water footprint of humanity / A.Y. Hoekstra, M.M. Mekonnen // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. – 2012. – Vol. 109(9). – Pp. 3232-3237.

300. Innocent, C.N. Multivariate statistical approach and water quality assessment of natural springs and other drinking water sources in Southeastern Nigeria / C.N. Innocent, E. Ugochukwu, O. Eze Sunday //Heliyon 5. – 2019. – e01123.

301. Liu, W. Quantitative Risk-Based Approach for Improving Water Quality Management in Mining / W. Liu, C.J. Moran, S. Vink // Environmental Science and Technology. – 2011. – Vol. 45(17). – Pp. 7459-7464.

302. Mauer, F.L. Manuel of acute toxicity interpretation and data base for 410 chemical and 66 specie of freshwater animals / F.L. Mauer, M.R. Ellersieck // US Dep. Inter. Fish and Wildlife Sew. Resour. Publ. – 1986. – Vol. 160(IV). – Pp. 1-32.

303. Mekonnen, M.M. Global anthropogenic phosphorus loads to freshwater and associated grey water footprints and water pollution levels: A high-resolution global study/ M.M. Mekonnen, A.Y. Hoekstra // Water Resources Research. – 2018. – Vol. 54. – Pp. 345-358.

304. Mekonnen, M.M. Global gray water footprint and water pollution levels related to anthropogenic nitrogen loads to fresh water / M.M. Mekonnen, A.Y. Hoekstra // Environmental Science and Technology. – 2015. – Vol. 49(21). – Pp. 12860-12868.

305. Nickanorov, A.M. Risk of mouth ecosystems pollution of the major rivers of Russia / A.M. Nickanorov, O.S. Reshetnyak // European Researcher. – 2014. – №.5-1. – Pp. 918-924.

306. Pekka, L. Geochemistry of the Kola River, northwestern Russia / L. Pekka, J. Ingri, A. Widerlund, O. Mokrotovarova, M. Riabtseva, B. Öhlander // Applied Geochemistry. – 2004. –Vol. 19(12). – Pp. 1975-1995.

307. Rapid Bioassessment: Protocols For Use in Streams and Wadeable Rivers: Peryphyton, Benthic Macroin vertebrates, and Fish. Second Edition. http://www.epa.gov/OWOW/monitoring/techmon.html

308. Reshetnyak, O.S. Environmental regulation of the chemical pollution in aquatic ecosystem (Biological aspects) / O.S. Reshetnyak // Water Resources. – 2016. – Vol.43. – No. 2. – Pp. 364-368.

309. Reshetnyak, O.S. The anthropogenic transformation of the water bodies of the European north of Russia / O.S. Reshetnyak // Russian Journal of General Chemistry. – 2010. – Vol. 80. – No. 13. – Pp. 2738-2753.

310. Reshetnyak, O.S. Long-Term Dynamics of the River Water Quality in the Northern Dvina Basin (Northwestern Russia) / O.S. Reshetnyak, V.N. Reshetnyak, K.G. Vlasov, K.G. Myagkova // Water Resources. – 2018. – Vol. 45(2). – Pp. S93-S98.

311. Soltani, A.A. A new methodology for assessing water quality, based on data envelopment analysis: Application to Algerian dams / A.A. Soltani, A. Oukil, H. Boutaghane, A. Bermad, M.R. Boulassel // Ecological Indicators. – 2021. – Vol. 121. – P. 106952.

312. Technical protocol for the freshwater health assessment. WWF – Canada. September, 2013.

313. The OSAEH Programme «Orange-Senqu Aquatic Ecosystem Health Monitoring programme». Report N^{o} ORASECOM 009/2009.

314. The water footprint assessment manual: Setting the global standard. Hoekstra A.Y., Chapagain A.K., Aldaya M.M., Mekonnen M.M. – London, UK, Earthscan, 2012. – 202 p.

315. Tong, Y. Decline in Chinese lake phosphorus concentration accompanied by shift in sources since 2006 / Y. Tong, W. Zhang, X.Wang, R.-M. Couture, Th. Larssen, Y. Zhao, J. Li, H. Liang, X. Liu, X. Bu, Wei He, Q. Zhang, Y. Lin // Nature Geoscience. – 2017. – Vol. 10. – Pp. 507-511.

316. Torres-Bejarano, F.M. Water quality model-based methodology to assess assimilative capacity of waste water discharges in rivers / F.M. Torres-Bejarano, M. Verbel-Escobar, M.C. Atencia-Osorio // Global J. Environ. Sci. Manage. – 2022. – Vol. 8(4). – Pp. 449-472.

Приложение А

Характеристика почвенного покрова в пределах физико-географических провинций ЕЧР

(составлено автором по [38])

№ *	Физико-географическая провинция (площадь, км^2)	Почвы	Дренаж	pH
Зоны тундры и лесотундры				
I	Северо-Кольская (34 009)	Подбуры тундровые темные	хороший	4,6
		Подзолы	хороший	4,6
II	Малоземельско-Большеземельская (124 670)	Аллювиальные дерновые	нормальный	6,3
		Перегнойно-глеевые тундровые	очень плохой	6,9
		Подбуры таежные	хороший	5,8
		Подзолы глеевые	нормальный	4,6
		Подзолисто-глеевые	довольно плохой	4,6
Зона тайги				
III	Западно-Кольская (64 922)	Подзолы	хороший	4,6
		Подбуры тундровые темные	хороший	4,6
		Торфяные болотные верховые	очень плохой	5,5
IV	Восточно-Кольская (43364)	Торфяные болотные верховые	очень плохой	5,5
V	Карельская (242 248)	Подзолы глеевые	нормальный	4,6
		Буроземы грубогумусовые	нормальный	4,8
		Подзолы	хороший	4,6
		Торфяные болотные верховые	очень плохой	5,5
		Подзолистые	нормальный	4,8
		Глееземы таежные дифференцированные	плохой	4,7
VI	Онежско-Двинская (149 771)	Подзолистые контактно-осветленные	нормальный	4,7
		Подзолы контактно-осветленные	хороший	4,5
		Аллювиальные дерновые кислые	нормальный	6,3
		Подзолисто-глеевые элювиированные	затрудненный	4,4
		Торфяно- и торфянисто-подзолисто-глеевые	довольно плохой	4,3
		Дерново-подзолистые	нормальный	5,2
VII	Пинего-Мезенская (52 547)	Торфяно- и торфянисто-подзолисто-глеевые	довольно плохой	4,3
		Подзолисто-глеевые	довольно плохой	4,6
		Подзолы	хороший	4,6
		Глееземы таежные дифференцированные	плохой	4,7

№ *	Физико-географическая провинция (площадь, км^2)	Почвы	Дренаж	pH
VIII	Мезенско-Двинская (269 093)	Подзолы	хороший	4,6
		Подзолы глеевые	хороший	4,6
		Подзолистые	нормальный	4,8
		Дерново-подзолистые	нормальный	5,2
		Торфяно- и торфянисто-подзолисто-глеевые	довольно плохой	4,6
IX	Тиманская (86 578)	Подзолы	хороший	4,6
		Торфяно- и торфянисто-подзолисто-глеевые	довольно плохой	4,3
		Подзолы глеевые	нормальный	4,6
X	Печорская (143 720)	Подзолы глеевые	нормальный	4,6
		Подзолы	хороший	4,6
		Торфяно- и торфянисто-подзолисто-глеевые	довольно плохой	4,3
		Торфяные болотные верховые	очень плохой	5,5
XI	Ветлужско-Унжинская (131 305)	Дерново-подзолистые иллювиально-железистые	нормальный	4,9
		Дерново-подзолистые	нормальный	5,2
XII	Вятско-Камская (177 389)	Дерново-подзолистые	нормальный	5,2
		Подзолы	хороший	4,6
		Дерново-подзолистые иллювиально-железистые	нормальный	4,9
		Серые лесные	хороший	5,3
Зона смешанных и широколиственных лесов				
XIII	Прибалтийская (230 380)	Буроземы грубогумусовые иллювиально-гумусные	нормальный	4,5
		Подзолы глеевые	нормальный	4,6
		Дерново-подзолистые	нормальный	5,2
		Перегнойно-глеевые	плохой	5,5
		Торфяно- и торфянисто-подзолисто-глеевые	довольно плохой	4,3
		Дерново-подзолистые иллювиально-железистые	нормальный	4,6
		Торфяные болотные верховые	очень плохой	5,5
		Подзолистые	нормальный	4,8
		Подзолистые контактно-глеевые	довольно плохой	5
		Дерновые глеевые оподзоленные	плохой	5,3
		Подзлолы	хороший	4,6
		Дерново-подзолистые контактно-глеевые	очень плохой	5,7
		Дерново-подзолистые иллювиально-железистые	нормальный	4,9
XIV	Верхне-Волжская (141 590)	Дерново-подзолистые	нормальный	5,2
		Подзолы глеевые	нормальный	4,6
		Дерново-подзолистые иллювиально-железистые	нормальный	4,9

№ *	Физико-географическая провинция (площадь, км^2)	Почвы	Дренаж	pH
XV	Смоленско-Московская (130 592)	Дерново-подзолистые иллювиально-железистые	нормальный	4,9
		Светло-серые лесные	хороший	5,7
		Дерново-подзолистые	нормальный	5,2
XVI	Мещерская (79 293)	Дерново-подзолисто-глеевые и глееватые	очень плохой	6,1
		Черноземы оподзоленные	нормальный	5,7
		Торфяные (без подразделений)	очень плохой	5,5
		серые лесные	хороший	5,3
		Дерново-подзолистые иллювиально-железистые	нормальный	4,9
		Светло-серые лесные	хороший	5,7
XVII	Приокская (41 299)	Серые лесные	хороший	5,3
		Черноземы выщелоченные	нормальный	6,5
		Черноземы оподзоленные	нормальный	5,7
		Дерново-подзолистые иллювиально-железистые	нормальный	4,9
		Светло-серые лесные	хороший	5,7
XVIII	Северо-Приволжская (47 636)	Темно-серые лесные	хороший	6,4
		Светло-серые лесные	хороший	5,7
		Серые лесные	хороший	5,3
		Черноземы выщелоченные	нормальный	6,5
XIX	Днепровско-Деснинская (88 055)	Дерново-подзолистые	нормальный	5,2
		Дерново-подзолистые иллювиально-железистые	нормальный	4,9
Зона лесостепей				
XX	Среднерусская (112 404)	Черноземы типичные	нормальный	6,8
		Черноземы обычные	нормальный	7,1
		Серые лесные	хороший	5,3
		Черноземы выщелоченные	нормальный	6,5
		Черноземы оподзоленные	нормальный	5,7
		Лугово-черноземные выщелоченные	довольно плохой	7,4
		Светло-серые лесные	хороший	5,7
XXI	Окско-Донская (72 273)	Черноземы типичные	нормальный	6,8
		Серые лесные	хороший	5,3
		Лугово-черноземные	довольно плохой	7,4
		Черноземы выщелоченные	нормальный	6,5
XXII	Приволжская (120 248)	Серые лесные	хороший	5,3
		Дерново-подзолистые иллювиально-железистые	нормальный	4,9
		Черноземы выщелоченные	нормальный	6,5
		Черноземы типичные	нормальный	6,8

№ *	Физико-географическая провинция (площадь, км^2)	Почвы	Дренаж	pH
XXIII	Кинельско-Камская (18 189)	Черноземы выщелоченные	нормальный	6,5
		Черноземы обычные	нормальный	7,1
		Черноземы типичные	нормальный	6,8
XXIV	Бугульминско-Белебеевская (102 521)	Черноземы выщелоченные	нормальный	6,5
		Черноземы обычные	нормальный	7,1
		Черноземы на обломочных материнских породах	нормальный	7,1
		Серые лесные	хороший	5,3
		Черноземы остаточно-карбонатные	нормальный	7,1
Зона степей				
XXV	Общий Сырт (78 636)	Черноземы обычные	нормальный	7,1
		Черноземы южные	нормальный	7,4
		Черноземы на обломочных материнских породах	нормальный	7,1
		Черноземы выщелоченные	нормальный	6,5
		Серые лесные	хороший	5,3
XXVI	Самаро-Иргизская (31 793)	Черноземы выщелоченные	нормальный	6,5
		Черноземы на обломочных материнских породах	нормальный	7,1
		Черноземы южные	нормальный	7,4
		Черноземы обычные	нормальный	7,1
XXVII	Хопер-Медведицкая (24 782)	Черноземы южные	нормальный	7,4
XXVIII	Донецко-Донская (106 424)	Каштановые солонцеватые и засоленные	затрудненный	7
		Пески	чрезмерный	–
		Черноземы южные	нормальный	7,4
		Черноземы обычные	нормальный	7,1
XXIX	Нижнедонская (38 693)	Черноземы южные	нормальный	7,4
		Черноземы южные и типичные мицилярно-карбонатные	нормальный	8,2
		Темно-каштановые	нормальный	7,4
XXX	Северо-Кавказская (43 518) Западно-Предкавказская (67 466)	Черноземы южные и типичные мицилярно-карбонатные	нормальный	8,2
		Черноземы южные и типичные мицилярно-карбонатные	нормальный	8,2
		Лугово-черноземные	довольно плохой	7,4
Примечание: * - сквозная нумерация провинций, принятая в данном исследовании				

Приложение Б

Характеристики состояния речных вод различных природных зон ЕЧР (по гидрохимическим показателям)

Таблица Б.1 – Изменчивость состояния речных вод зоны тайги ЕЧР по интегральным гидрохимическим показателям [расчеты и оценка выполнены автором]

Номер*	Река	Пункт наблюдений	Легкоокисляемые органические вещества		Азот аммонийный	
			модальный интервал концентраций, мг/дм^3	состояние	модальный интервал концентраций, мг/дм^3	состояние
III. Западно-Кольская провинция						
301	Лотта	устье	0,09-0,56	естественное	н.о.-0,07	естественное
302	Патсо-йоки	Борисоглебская ГЭС	0,09-0,77	естественное	н.о.-0,07	естественное
303	Кола	исток	0,55-1,08	естественное	н.о.-0,05	естественное
304	Кола	г. Кола	0,16-0,99	естественное	н.о.-0,34	равновесное
305	Акким	п.Приречный	0,11-0,74	естественное	н.о.-0,04	естественное
306	Печенга	п. Корзуново	0,18-1,56	переходное из естественного в равновесное	н.о.*-0,08	естественное
307	Ена	п. Ена	0,08-1,10	переходное из естественного в равновесное	н.о.-0,12	равновесное
308	Кица	устье	0,49-0,96	естественное	н.о.-0,06	естественное
309	Ковдора	г. Ковдор	0,10-1,44	переходное из естественного в равновесное	н.о.-0,29	равновесное
310	Нама-йоки	пгт Луостари	0,02-0,32	естественное	н.о.-0,03	естественное
311	Вите	устье	0,10-0,91	естественное	н.о.-0,05	естественное
312	Сергевань	устье	0,11-0,56	естественное	н.о.-0,04	естественное
313	Вирма	с. Ловозеро	0,04-1,62	переходное из естественного в равновесное	н.о.-0,69	переходное из равновесного в напряженное
314	Колос-йоки	пгт Никель	0,03-0,58	естественное	н.о.-0,04	естественное
315	Можель	г. Ковдор	0,12-1,76	переходное из естественного в равновесное	н.о.-0,40	равновесное
IV. Восточно-Кольская провинция						
401	Поной	с. Краснощелье	0,10-0,52	естественное	н.о.-0,07	естественное
V. Карельская провинция						
501	Свирь	пгт Свирица	0,60-1,80	равновесное	н.о.-0,03	естественное
502	Вуокса	г. Приозерск	1,20-2,70	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,02	естественное
503	Кемь	г. Кемь	1,06-1,83	равновесное	0,02-0,16	равновесное
504	Лендерка	п. Лендеры	0,50-0,96	равновесное	н.о.-0,08	естественное

Номер*	Река	Пункт наблюдений	Легкоокисляемые органические вещества		Азот аммонийный	
			модальный интервал концентраций, мг/дм^3	состояние	модальный интервал концентраций, мг/дм^3	состояние
505	Кереть	автодорожный мост	н.о.-1,03	равновесное	н.о.-0,13	равновесное
506	Олонка	г. Олонец	1,04-1,78	равновесное	н.о.-0,30	равновесное
507	Кумса	г. Медвежьегорск	1,46-2,49	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,12	равновесное
508	Волчья	д. Варшко	1,35-2,82	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,06	естественное
509	Лососинка	г. Петрозаводск	1,64-2,60	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,12	равновесное
VI. Онежско-Двинская провинция						
601	Онега	г. Каргополь	0,60-2,90	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,14	равновесное
602	Сухона	г. Сокол	1,92-3,53	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,31	равновесное
603	Емца	с. Сельцо	0,40-1,51	равновесное	н.о.-0,13	равновесное
604	Волошка	п. Волошка	0,62-5,74	переходное из равновесного в критическое	н.о.-1,24	переходное из равновесного в критическое
605	Вологда	г. Вологда	0,33-6,85	переходное из равновесного в критическое	0,01-1,85	переходное из равновесного в критическое
606	Кодина	р.п. Кодино	1,78-3,10	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,12	равновесное
607	Сямжена	с. Сямжа	0,50-1,18	равновесное	0,01-0,36	равновесное
608	Золотица	д. Верхняя Золотица	0,32-1,21	переходное из естественного в равновесное	н.о.-0,09	естественное
609	Мудьюга	д. Патракеевская	0,59-1,52	равновесное	н.о.-0,07	естественное
	VII. Пинего-Мезенская провинция					
701	Северная Двина	с. Усть-Пинега	0,25-2,10	равновесное	н.о.-0,08	естественное
702	Мезень	с. Дорогорское	1,70-2,68	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,10	естественное
703	Пинега	с. Кулогоры	0,23-3,35	переходное из естественного в напряженное	н.о.-0,13	естественное
704	Пинега	с. Усть-Пинега	0,47-2,54	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,09	естественное
705	Кулой	д. Кулой	1,42-2,32	переходное из	н.о.-0,07	естественное

Номер*	Река	Пункт наблюдений	Легкоокисляемые органические вещества		Азот аммонийный	
			модальный интервал концентраций, мг/дм^3	состояние	модальный интервал концентраций, мг/дм^3	состояние
				равновесного в напряженное		
706	Пеза	д. Сафоново	1,22-3,82	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,10	естественное
VIII. Мезенско-Двинская провинция						
801	Северная Двина	д. Абрамково	2,90-4,26	напряженное	н.о.-0,12	равновесное
802	Вычегда	г. Коряжма	0,33-2,48	переходное из равновесного в напряженное	0,01-0,18	равновесное
803	Вычегда	д. Гавриловка	1,47-2,56	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,29	равновесное
804	Мезень	д. Макариб	0,60-2,05	равновесное	н.о.-0,14	равновесное
805	Сухона	г. Тотьма	1,48-2,44	переходное из равновесного в напряженное	0,02-0,56	равновесное
806	Вага	г. Вельск	1,42-2,52	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,10	естественное
807	Вага	д. Глуборецкая	0,30-1,43	равновесное	н.о.-0,14	равновесное
808	Вымь	с. Весляна	0,30-1,61	равновесное	н.о.-0,20	равновесное
809	Луза	д. Верхолузье	0,59-1,92	равновесное	н.о.-0,26	равновесное
810	Локчим	с. Лопыдино	1,72-2,83	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,34	равновесное
811	Виледь	д. Инаевская	0,17-3,63	переходное из естественного в напряженное	н.о.-0,32	равновесное
812	Яренга	с. Тохта	0,30-3,36	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,40	равновесное
813	Покшеньга	д. Сылога	1,69-2,86	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,09	естественное
814	Ледь	д. Зеленинская	0,32-1,54	равновесное	н.о.-0,09	естественное
815	Двиница	д. Котлакса	1,65-3,08	переходное из равновесного в напряженное	0,01-0,36	равновесное
816	Большая Лоптюга	д. Буткан	1,05-1,81	равновесное	н.о.-0,10	естественное
817	Сура	д. Гора	0,16-1,26	переходное из естественного в равновесное	н.о.-0,06	естественное
IX. Тиманская провинция						
901	Печора	п. Троицко-	0,30-3,49	переходное из	н.о.-0,25	равновесное

Номер*	Река	Пункт наблюдений	Легкоокисляемые органические вещества		Азот аммонийный	
			модальный интервал концентраций, мг/дм^3	состояние	модальный интервал концентраций, мг/дм^3	состояние
		Печорск		равновесного в напряженное		
902	Вишера	п. Рябинино	0,15-1,27	переходное из естественного в равновесное	н.о.-0,22	равновесное
903	Цильма	с. Трусово	0,30-3,36	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,23	равновесное
904	Колва	г. Чердынь	0,62-1,07	естественное	н.о.-0,20	равновесное
905	Ухта	г. Ухта	0,30-2,72	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,22	равновесное
906	Сойва	д. Нижняя Омра	0,50-1,63	равновесное	н.о.-0,20	равновесное
X. Печорская провинция						
1001	Печора	д. Якша	0,30-1,05	равновесное	н.о.-0,14	равновесное
1002	Печора	с. Усть-Цильма	0,23-1,28	переходное из естественного в равновесное	н.о.-0,25	равновесное
1003	Уса	с. Усть-Уса	0,29-2,71	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,22	равновесное
1004	Ижма	г. Сосногорск	1,40-2,46	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,21	равновесное
1005	Илыч	п. Приуральск	0,21-0,62	естественное	н.о.-0,31	равновесное
1006	Кожва	с. Усть-Кожва	0,30-2,74	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,16	равновесное
1007	Пижма	д. Боровая	1,79-2,52	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,20	равновесное
XI. Ветлужско-Унжинская провинция						
1101	Вятка	г. Котельнич	0,09-0,79	естественное	н.о.-0,39	равновесное
1102	Ветлуга	пгт Ветлужский	0,11-1,30	переходное из естественного в равновесное	н.о.-0,29	равновесное
1103	Ветлуга	д. Марьино	1,67-2,81	переходное из равновесного в напряженное	0,23-0,41	равновесное
1104	Унжа	г. Мантурово	0,11-1,84	переходное из естественного в равновесное	н.о.-0,50	равновесное
1105	Большая Кокшага	г. Санчурск	0,31-2,10	равновесное	н.о.-0,23	равновесное
1106	Керженец	с. Хахалы	0,10-1,26	переходное из естественного в равновесное	н.о.-0,28	равновесное
1107	Немда	с. Селище	0,78-1,80	равновесное	0,04-0,29	равновесное

Номер*	Река	Пункт наблюдений	Легкоокисляемые органические вещества		Азот аммонийный	
			модальный интервал концентраций, мг/дм^3	состояние	модальный интервал концентраций, мг/дм^3	состояние
1108	Межа	д. Загатино	1,40-2,50	переходное из равновесного в напряженное	0,03-0,26	равновесное
1109	Шача	г. Приволжск	1,77-3,51	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,51	равновесное
1110	Сунжа	с. Новописцово	1,90-3,77	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,48	равновесное
XII. Вятско-Камская провинция						
1201	Кама	г. Сарапул	0,16-1,96	равновесное	0,02-0,43	равновесное
1202	Кама	р.п. Тюлькино	0,20-1,08	естественное	н.о.-0,16	равновесное
1203	Вятка	с. Красноглинье	0,12-1,24	равновесное	н.о.-0,22	равновесное
1204	Вятка	г. Слободской	1,16-2,19	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,31	равновесное
1205	Чепца	с. Полом	0,32-2,64	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,30	равновесное
1206	Кильмезь	д. Вичмарь	0,15-1,80	равновесное	н.о.-0,25	равновесное
1207	Коса	с. Коса	0,50-1,01	равновесное	0,03-0,21	равновесное
1208	Иж	г. Ижевск	0,15-1,95	переходное из естественного в равновесное	н.о.-0,31	равновесное
1209	Обва	п. Рождественск	0,51-1,56	переходное из естественного в равновесное	н.о.-0,14	равновесное
1210	Иньва	г. Кудымкар	0,34-1,09	естественное	н.о.-0,12	равновесное
1211	Иньва	д. Слудка	0,78-1,31	равновесное	н.о.-0,14	равновесное
1212	Велва	д. Ошиб	0,35-1,17	равновесное	н.о.-0,16	равновесное
1213	Берсут	с. Урманчеево	1,00-2,90	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,37	равновесное

Таблица Б.2 – Изменчивость состояния речных вод зоны смешанных и широколиственных лесов ЕЧР по интегральным гидрохимическим показателям [расчеты и оценка выполнены автором]

Номер*	Река	Пункт наблюдений	Легкоокисляемые органические вещества		Азот аммонийный	
			модальный интервал концентраций, мг/дм^3	состояние	модальный интервал концентраций, мг/дм^3	состояние
XIII. Прибалтийская провинция						
1301	Нева	г. Кировск	0,16-1,20	переходное из естественного в равновесное	н.о.-0,11	естественное
1302	Нева	г. Санкт-Петербург	1,07-2,00	равновесное	н.о.-0,07	естественное
1303	Свирь	г. Подпорожье	1,00-1,90	равновесное	н.о.-0,04	естественное
1304	Свирь	г. Лодейное Поле	1,60-2,30	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,07	естественное
1305	Волхов	г. Кириши	1,50-2,20	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,05	естественное
1306	Великая	г. Опочка	1,00-1,60	равновесное	н.о.-0,07	естественное
1307	Великая	г. Остров	0,80-1,52	равновесное	н.о.-0,10	естественное
1308	Ловать	г. Великие Луки	1,00-1,80	равновесное	н.о.-0,09	естественное
1309	Луга	г. Луга	0,20-1,80	переходное из естественного в равновесное	н.о.-0,07	естественное
1310	Паша	с. Часовенское	1,10-2,00	равновесное	н.о.-0,03	естественное
1311	Плюсса	г. Сланцы	0,90-1,70	равновесное	н.о.-0,02	естественное
1312	Оять	д. Акулова гора	1,30-2,40	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,04	естественное
1313	Оредеж	д. Моровино	0,50-1,80	равновесное	н.о.-0,06	естественное
1314	Тихвинка	г. Тихвин	0,70-2,00	равновесное	н.о.-0,02	естественное
1315	Тосна	п. Усть-Тосно	0,50-2,70	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,08	естественное
1316	Большая Вишера	пгт Большая Вишера	1,70-2,50	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,21	равновесное
1317	Кересть	г. Чудово	1,01-3,20	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,18	равновесное
1318	Мга	п. Павлово	0,55-2,48	переходное из равновесного в	н.о.-0,27	равновесное

Номер*	Река	Пункт наблюдений	Легкоокисляемые органические вещества		Азот аммонийный	
			модальный интервал концентраций, мг/дм^3	состояние	модальный интервал концентраций, мг/дм^3	состояние
				напряженное		
XIV. Верхне-Волжская провинция						
1401	Молога	г. Устюжна	0,70-2,06	равновесное	н.о.-0,34	равновесное
1402	Мста	г. Боровичи	2,30-3,40	напряженное	н.о.-0,03	естественное
1403	Кострома	г. Буй	1,69-3,11	переходное из равновесного в напряженное	0,01-0,37	равновесное
1404	Кострома	с. Исады	0,38-1,40	равновесное	н.о.-0,70	переходное из равновесного в напряженное
1405	Чагодоща	с. Мегрино	1,12-2,60	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,29	равновесное
1406	Тверца	г. Тверь	0,79-1,54	равновесное	н.о.-0,17	равновесное
1407	Которосль	г. Гаврилов-Ям	1,58-2,93	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,30	равновесное
1408	Дубна	п. Вербилки	1,98-3,62	переходное из равновесного в напряженное	0,10-0,60	равновесное
1409	Андога	с. Никольское	1,63-2,91	переходное из равновесного в напряженное	0,02-0,34	равновесное
1410	Сестра	с. Трехсвятское	2,72-4,44	напряженное	0,10-1,10	переходное из равновесного в напряженное
1411	Корожечна	д. Сумы	0,31-2,24	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,17	равновесное
1412	Ухра	д. Клочково	0,59-2,00	равновесное	н.о.-0,26	равновесное
1413	Соть	д. Верхний Жар	0,12-1,39	равновесное	н.о.-0,26	равновесное
1414	Меза	д. Ямково	1,50-2,70	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,25	равновесное
1415	Ить	д. Нестерово	0,15-1,47	равновесное	н.о.-0,21	равновесное
XV. Смоленско-Московская провинция						
1501	Волга	г. Ржев	0,70-1,28	равновесное	н.о.-0,17	равновесное
1502	Ока	г. Калуга	1,47-2,66	переходное из равновесного в напряженное	0,01-0,90	переходное из равновесного в напряженное

Номер*	Река	Пункт наблюдений	Легкоокисляемые органические вещества		Азот аммонийный	
			модальный интервал концентраций, мг/дм^3	состояние	модальный интервал концентраций, мг/дм^3	состояние
1503	Москва	д. Барсуки	1,26-2,56	переходное из равновесного в напряженное	0,09-0,50	равновесное
1504	Москва	г. Звенигород	0,91-4,09	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,62	переходное из равновесного в напряженное
1505	Угра	п. Куровской	1,39-1,97	равновесное	0,25-0,46	равновесное
1506	Протва	г. Верея	1,48-2,92	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,60	переходное из равновесного в напряженное
1507	Болва	г. Людиново	1,41-1,94	равновесное	0,27-0,53	равновесное
1508	Шаня	пгт Товарково	1,35-2,06	равновесное	0,27-0,50	равновесное
1509	Истра	д. Павловская Слобода	0,48-4,02	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,60	переходное из равновесного в напряженное
1510	Колокша	с. Бабаево	2,28-4,52	переходное из напряженного в критическое	н.о.-0,47	равновесное
1511	Вязьма	г. Вязьма	0,48-1,34	равновесное	н.о.-0,23	равновесное
1512	Воря	г. Красноармейск	1,08-5,20	переходное из равновесного в критическое	0,10-1,01	переходное из равновесного в напряженное
1513	Лопасня	г. Чехов	2,08-3,83	напряженное	0,06-0,70	
1514	Истья	с. Поповичи	2,29-2,83	напряженное	н.о.-0,33	равновесное
1515	Серая	д. Новинки	0,09-1,88	равновесное	н.о.-0,45	равновесное
1516	Кунья	г. Красновзводск	0,67-2,87	переходное из равновесного в напряженное	0,02-0,81	переходное из равновесного в напряженное
XVI. Мещерская провинция						
1601	Ока	г. Муром	2,16-3,48	напряженное	н.о.-0,57	переходное из равновесного в напряженное
1602	Ока	г. Рязань	1,81-3,31	напряженное	0,04-0,73	
1603	Клязьма	г. Ковров	0,41-6,86	переходное из равновесного в критическое	н.о.-0,69	переходное из равновесного в напряженное
1604	Клязьма	г. Галицы	0,17-2,43	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,37	равновесное

Номер*	Река	Пункт наблюдений	Легкоокисляемые органические вещества		Азот аммонийный	
			модальный интервал концентраций, мг/дм^3	состояние	модальный интервал концентраций, мг/дм^3	состояние
1605	Клязьма	г. Павловский Посад	0,54-7,44	переходное из равновесного в катастрофическое	0,10-1,93	переходное из равновесного в критическое
1606	Теша	д. Натальино	2,89-5,58	переходное из напряженного в критическое	н.о.-0,38	равновесное
1607	Пра	п. Брыкин Бор	1,28-2,53	переходное из равновесного в напряженное	0,46-0,87	напряженное
1608	Пра	с. Борисово	0,50-1,71	равновесное	0,53-0,99	напряженное
1609	Уводь	г. Иваново	0,10-5,12	переходное из равновесного в критическое	н.о.-1,48	переходное из равновесного в критическое
1610	Уводь	с. Вознесенье	0,50-2,88	переходное из равновесного в напряженное	0,01-0,54	равновесное
1611	Теза	г. Шуя	2,25-4,26	переходное из напряженного в критическое	н.о.-0,38	равновесное
1612	Ушна	с. Борисоглеб	1,96-3,21	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,25	равновесное
1613	Бужа	д. Избище	0,76-1,26	равновесное	0,85-1,70	переходное из напряженного в критическое
XVII. Приокская провинция						
1701	Ока	г. Орел	0,15-3,58	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,88	переходное из равновесного в напряженное
1702	Ока	г. Алексин	0,10-2,02	переходное из естественного в равновесное	н.о.-0,46	равновесное
1703	Ока	г. Белев	0,12-2,88	переходное из естественного в напряженное	н.о.-0,29	равновесное
1704	Упа	д. Кулешево	0,10-2,04	равновесное	н.о.-0,65	переходное из равновесного в напряженное
1705	Свапа	сл. Михайловка	1,34-2,19	переходное из равновесного в напряженное	0,06-0,32	равновесное
1706	Свапа	г. Дмитриев	2,01-4,34	переходное из напряженного в критическое	0,05-0,75	переходное из равновесного в напряженное
1707	Осетр	д. Городня	2,32-4,06	напряженное	0,06-0,62	
1708	Снежеть	г. Карачев	2,16-2,87	напряженное	0,30-0,53	равновесное

Номер*	Река	Пункт наблюдений	Легкоокисляемые органические вещества		Азот аммонийный	
			модальный интервал концентраций, мг/дм^3	состояние	модальный интервал концентраций, мг/дм^3	состояние
1709	Усожа	г. Фатеж	1,34-2,25	переходное из равновесного в напряженное	0,10-0,40	равновесное
XVIII. Северо-Приволжская провинция						
1801	Сура	с. Порецкое	2,88-4,19	переходное из равновесного в напряженное	0,02-0,59	переходное из равновесного в напряженное
1802	Пьяна	с. Камкино	0,40-2,13	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,60	переходное из равновесного в напряженное
1803	Цивиль	д. Тувси	0,42-1,48	равновесное	0,02-0,50	равновесное
1804	Кудьма	д. Ефимьево	1,42-2,50	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,24	равновесное
1805	Кудьма	г. Кстово	1,97-3,59	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-1,38	переходное из равновесного в критическое
1806	Кубня	с. Чутеево	1,88-3,61	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,50	равновесное
1807	Сундовик	д. Семово	1,46-2,30	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,35	равновесное
XIX. Днепровско-Деснинская провинция						
1901	Жиздра	г. Козельск	1,45-2,08	равновесное	0,30-0,54	равновесное
1902	Болва	г. Фокино	1,49-2,28	переходное из равновесного в напряженное	0,34-0,43	равновесное
1903	Навля	г. Навля	0,58-2,58	переходное из равновесного в напряженное	0,08-0,47	равновесное
1904	Унеча	г. Унеча	1,84-2,94	переходное из равновесного в напряженное	0,32-0,46	равновесное

Примечание * - 101 – 1 - номер провинции, 01 –порядковый номер реки.
**н.о. – ниже предела обнаружения метода.

Таблица Б.3 – Изменчивость состояния речных вод лесостепной и степной зон ЕЧР по интегральным гидрохимическим показателям [расчеты и оценка выполнены автором]

Номер*	Река	Пункт наблюдений	ЛООВ		Азот аммонийный	
			МИ концентраций, мг/дм^3	состояние	МИ концентраций, мг/дм^3	состояние
ЗОНА ЛЕСОСТЕПЕЙ						
XX. Среднерусская провинция						
2001	Дон	г. Воронеж	1,54-3,00	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,46	равновесное
2002	Дон	г. Данков	1,50-2,62	переходное из равновесного в напряженное	0,04-0,86	переходное из равновесного в напряженное
2003	Дон	г. Лебедянь	1,72-2,84	переходное из равновесного в напряженное	0,07-0,36	равновесное
2004	Дон	г. Задонск	1,55-2,45	переходное из равновесного в напряженное	0,04-0,42	равновесное
2005	Северский Донец	с. Беломестное	1,63-2,56	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,27	равновесное
2006	Быстрая Сосна	г. Ливны	1,00-2,33	переходное из равновесного в напряженное	0,02-0,70	переходное из равновесного в напряженное
2007	Проня	пгт Серебрянь	1,47-2,38	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,08	естественное
2008	Упа	д. Орлово	0,50-2,20	переходное из равновесного в напряженное	0,01-0,86	переходное из равновесного в напряженное
2009	Красивая Меча	г. Ефремов	0,50-1,73	равновесное	н.о.-0,26	равновесное
2010	Тихая Сосна	г. Алексеевка	1,02-2,78	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,80	переходное из равновесного в напряженное
2011	Нежеголь	г. Шебекино	2,18-3,10	напряженное	н.о.-0,50	равновесное
2012	Тускарь	г. Курск	1,84-3,42	переходное из равновесного в напряженное	0,03-0,82	переходное из равновесного в напряженное
2013	Неручь	д. Орловка	0,27-1,61	равновесное	0,06-0,47	равновесное
2014	Суджа	сл. Замостье	0,79-2,61	переходное из равновесного в	0,05-0,61	переходное из равно-

Номер*	Река	Пункт наблюдений	ЛООВ		Азот аммонийный	
			МИ концентраций, мг/дм^3	состояние	МИ концентраций, мг/дм^3	состояние
				напряженное		весного в напряженное
2015	Верда	г. Скопин	1,11-2,10	равновесное	н.о.-0,44	равновесное
2016	Короча	г. Короча	2,24-3,74	напряженное	н.о.-0,39	равновесное
2017	Осколец	г. Губкин	2,05-3,55	напряженное	н.о.-0,30	равновесное
2018	Воронка	д. Ясная Поляна	0,33-2,60	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,38	равновесное
XXI. Окско-Донская провинция						
2101	Дон	г. Лиски	1,77-2,94	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,32	равновесное
2102	Хопер	г. Борисоглебск	1,40-2,84	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,28	равновесное
2103	Хопер	г. Балашов	0,83-1,90	равновесное	н.о.-0,37	равновесное
2104	Медведица	р.п. Лысые Горы	0,84-1,87	равновесное	н.о.-0,51	равновесное
2105	Воронеж	г. Липецк	1,45-2,58	переходное из равновесного в напряженное	0,04-0,62	переходное из равновесного в напряженное
2106	Воронеж	с. Старая Казинка	1,90-2,30	переходное из равновесного в напряженное	0,22-0,37	равновесное
2107	Цна	г. Тамбов	1,48-2,80	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,62	переходное из равновесного в напряженное
2108	Битюг	р.п. Анна	0,63-1,85	равновесное	н.о.-0,25	равновесное
2109	Матыра	с. Крутое	1,73-2,80	переходное из равновесного в напряженное	0,26-0,50	равновесное
2110	Усмань	Воронежский заповедник	2,10-2,55	напряженное	н.о.-0,37	равновесное
2111	Карай	с. Подгорное	1,50-2,24	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,51	равновесное
2112	Становая ряса	г. Чаплыгин	1,95-3,31	переходное из равновесного в напряженное	0,03-0,40	равновесное
2113	Лесной Воронеж	г. Мичуринск	0,84-2,41	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,60	переходное из равновесного в напряженное
2114	Лесной Тамбов	г. Рассказово	0,96-1,71	равновесное	н.о.-0,19	равновесное
XXII. Приволжская провинция						
2201	Свияга	г. Буинск	1,00-2,93	переходное из	н.о.-0,40	равновесное

Номер*	Река	Пункт наблюдений	ЛООВ		Азот аммонийный	
			МИ концентраций, мг/дм^3	состояние	МИ концентраций, мг/дм^3	состояние
				равновесного в напряженное		
2202	Ворона	г. Кирсанов	0,64-1,57	равновесное	н.о.-0,38	равновесное
2203	Барыш	р.п. Карсун	2,04-3,07	напряженное	н.о.-0,70	переходное из равновесного в напряженное
2204	Сызрань	с. Репьевка	1,10-4,45	переходное из равновесного в критическое	н.о.-0,30	равновесное
2205	Инсар	г. Саранск	3,98-7,65	переходное из напряженного в катастрофическое	0,02-1,39	переходное из равновесного в напряженное
2206	Инсар	г. Рузаевка	0,16-3,96	переходное из естественного в напряженное	н.о.-1,00	переходное из равновесного в напряженное
2207	Атмисс	г. Каменка	3,21-3,97	напряженное	н.о.-0,35	равновесное
2208	Гуща	с. Елшанка	2,21-3,31	напряженное	н.о.-0,56	переходное из равновесного в напряженное
2209	Тешнярь	п. Сосновоборск	3,30-4,02	напряженное	0,04-0,39	равновесное
XXIII. Кинельско-Камская провинция						
2301	Самара	пгт Алексеевка	3,49-4,72	переходное из напряженного в критическое	н.о.-0,25	равновесное
2302	Сок	с. Красный Яр	3,50-4,72	переходное из напряженного в критическое	н.о.-0,39	равновесное
2303	Большой Черемшан	пгт Новочеремшанск	1,57-3,06	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,51	равновесное
2304	Падовая	г. Самара	2,85-4,11	напряженное	0,04-1,39	переходное из равновесного в критическое
XXIV. Бугульминско-Белебеевская провинция						
2401	Большой Кинель	пгт Тимашево	2,24-4,64	переходное из напряженного в критическое	н.о.-0,31	равновесное
2402	Сок	р.п. Сергиевск	2,22-4,63	переходное из напряженного в критическое	н.о.-0,38	равновесное
2403	Степной Зай	г. Альметьевск	1,85-3,18	переходное из равновесного в напряженное	0,05-0,36	равновесное

Номер*	Река	Пункт наблюдений	ЛООВ		Азот аммонийный	
			МИ концентраций, мг/дм^3	состояние	МИ концентраций, мг/дм^3	состояние
2404	Сургут	г. Серноводск	3,68-4,91	переходное из напряженного в критическое	н.о.-0,29	равновесное
ЗОНА СТЕПЕЙ						
XXV. Провинция Общий Сырт						
2501	Самара	г. Бузулук	0,76-3,25	напряженное	н.о.-0,82	переходное из равновесного в напряженное
2502	Сакмара	с. Каргала	2,22-3,20	напряженное	0,07-0,31	равновесное
2503	Урал	п. Илек	1,90-2,87	переходное из равновесного в напряженное	0,09-0,27	равновесное
2504	Салмыш	с. Буланово	2,25-2,77	напряженное	н.о.-0,35	равновесное
2505	Ток	с. Ероховка	2,35-3,31	напряженное	0,04-0,39	равновесное
XXVI. Самаро-Иргизская провинция						
2601	Большой Иргиз	г. Пугачев	0,70-2,56	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,32	равновесное
2602	Чапаевка	г. Чапаевск	1,23-4,89	переходное из равновесного в критическое	н.о.-1,84	переходное из равновесного в критическое
2603	Чагра	с. Новотулка	3,37-4,44	переходное из напряженного в критическое	н.о.-0,98	переходное из равновесного в напряженное
XXVII. Хопер-Медведицкая провинция						
2701	Дон	г. Серафимович	2,68-4,13	переходное из напряженного в критическое	0,25-0,48	равновесное
2702	Медведица	устье	2,14-3,29	напряженное	0,28-0,53	равновесное
2703	Бузулук	с. Перевозниково	2,40-3,57	напряженное	0,04-0,36	равновесное
XXVIII. Донецко-Донская провинция						
2801	Дон	г. Павловск	1,38-2,53	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,88	переходное из равновесного в напряженное
2802	Дон	с. Новая Калитва	0,94-1,99	равновесное	н.о.-0,22	равновесное
2803	Хопер	устье	2,26-3,43	напряженное	0,25-0,47	равновесное
2804	Калитва	с. Раздолье	2,40-3,77	напряженное	0,01-0,12	равновесное
2805	Быстрая	х. Апанаскин	2,70-4,20	переходное из напряженного в критическое	0,03-0,13	равновесное
XXIX. Нижнедонская провинция						
2901	Дон	г. Волгодонск	2,22-3,77	напряженное	0,19-0,36	равновесное
2902	Дон	г. Констан-	2,71-3,77	напряженное	н.о.-0,11	равновесное

Номер*	Река	Пункт наблюдений	ЛООВ		Азот аммонийный	
			МИ концентраций, мг/дм^3	состояние	МИ концентраций, мг/дм^3	состояние
		тиновск				
2903	Дон	г. Семикаракорск	2,05-3,48	напряженное	н.о.-0,14	равновесное
2904	Дон	р.п. Багаевский	2,22-3,39	напряженное	н.о.-0,14	равновесное
2905	Дон	ст. Раздорская	0,60-5,00	переходное из равновесного в критическое	н.о.-0,12	равновесное
2906	Северский Донец	р.п. Усть-Донецкий	1,00-3,74	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,24	равновесное
XXX. Северо-Кавказская и Западно-Предкавказская провинции						
3001	Кубань	г. Армавир	0,78-2,16	равновесное	н.о.-0,35	равновесное
3002	Кубань	г. Кропоткин	0,98-2,06	равновесное	н.о.-0,32	равновесное
3003	Кубань	ст.Ладожская	0,90-2,02	равновесное	н.о.-0,40	равновесное
3004	Кубань	г. Краснодар	1,00-2,77	переходное из равновесного в напряженное	н.о.-0,14	равновесное

Примечание * - 101 – 1 - номер провинции, 01 –порядковый номер реки.
**н.о. – ниже предела обнаружения метода .