

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ  
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГИДРОХИМИИ И МОНИТОРИНГА  
КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД**

**СБОРНИК СТАТЕЙ, ПОСВЯЩЕННЫЙ 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ  
ОБРАЗОВАНИЯ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА**

**Часть 1**



**Ростов-на-Дону  
2020**

УДК 556.114:502.174(082)  
ББК 26.22я43

Сборник статей, посвященный 100-летию со дня образования Гидрохимического института, «Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод». Часть 1. – Ростов-на-Дону, 2020. – 323 с.

**Редакционная коллегия:**

М.М. Трофимчук, кандидат биологических наук  
Б.Л. Сухоруков, доктор физико-математических наук  
Т.А. Хоружая, доктор биологических наук  
О.А. Клименко, кандидат химических наук  
Н.П. Матвеева, кандидат химических наук  
Л.С. Косменко, кандидат химических наук  
А.А. Назарова, кандидат химических наук  
Л.М. Предеина, кандидат химических наук  
А.О. Даниленко, кандидат биологических наук  
О.С. Решетняк, кандидат географических наук  
М.Ю. Кондакова, кандидат биологических наук

Сборник материалов опубликован при финансовой поддержке  
Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

В сборнике представлены материалы исследований по широкому кругу вопросов фундаментальной и прикладной гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод. В первую часть сборника включены статьи, касающиеся закономерностей формирования состава поверхностных вод суши в условиях антропогенного воздействия, трансформации и миграции растворенных и взвешенных веществ в водных объектах, а также экологических проблем поверхностных водных объектов и экологического нормирования состояния водных экосистем.

Тематика опубликованных в сборнике материалов представляет интерес для широкого круга специалистов в области гидрохимии, гидробиологии, токсикологии, экологии.

Компьютерная верстка: М.Ю. Кондакова, А.А. Коваленко, Р.С. Комаров, А.Д. Сазонов

© Федеральное государственное бюджетное учреждение «Гидрохимический институт»

ISBN 978-5-6046424-0-5



## СОДЕРЖАНИЕ

ТРОФИМЧУК М.М. Гидрохимический институт – 100 лет науки и практики: итоги и перспективы.....	7
----------------------------------------------------------------------------------------------	---

### СЕКЦИЯ 1. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД СУШИ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ, ТРАНСФОРМАЦИЯ И МИГРАЦИЯ РАСТВОРЕННЫХ И ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ

АБДУЕВ М.А. Исследование химического состава и солевого стока речных вод Нахичеванской Автономной Республики .....	19
ГРИГОРЬЕВА И.Л., КУЗОВЛЕВ В.В. Пространственно-временная изменчивость содержания нитратов и фосфатов в воде Иваньковского водохранилища и его основных притоков .....	24
ДАНИЛЕНКО А.О., ГЕОРГИАДИ А.Г. Изменения ионно-солевого состава воды р. Северная Двина в период современного потепления климата.....	28
ДАНИЛЕНКО А.О., КОВАЛЕНКО А.А., КОСМЕНКО Л.С., КОНДАКОВА М.Ю., РЕШЕТНЯК О.С. Метод оценки стационарного состояния водных объектов на примере рек полуострова Камчатка .....	34
ДОЛГОВ С.В., КОРОНКЕВИЧ Н.И., БАРАБАНОВА Е.А. Современные особенности водно-биогенного баланса речных водосборов в северной части лесостепной зоны в бассейне Волги.....	39
ДРЕЕВА Ф.Р., РЕУТОВА Н.В., РЕУТОВА Т.В. Динамика содержания алюминия в основных реках Центрального Кавказа при изменении абсолютных высот .....	44
ЗАХАРОВА М.В. Факторная модель состава речных вод Оки в фоновом створе города Калуги .....	49
ЗУБКОВ Е.А., ГАРЬКУША Д.Н., БАРЦЕВ О.Б. Массоперенос главных ионов при разгрузке подземных вод четвертичного водоносного комплекса в Азовское море ..	54
КЕРИМОВ А.М., КУРАШЕВА О.А. Деградация оледенения Центрального Кавказа с конца XIX века и характеристика химического состава речных вод ледникового питания.....	59
КЛЕЩЕНКОВ А.В., КОРШУН А.М. Изменения ионного состава Цимлянского водохранилища в маловодный период .....	65
КОНДАКОВА М.Ю., ДАНИЛЕНКО А.О., РЕШЕТНЯК О.С., КОСМЕНКО Л.С., КОВАЛЕНКО А.А. Сток растворенных химических веществ для рек Западно- и Восточно-Сибирской частей Российской Арктики: пространственная неоднородность и основные тенденции многолетней изменчивости .....	70

КОНДАКОВА М.Ю., ДАНИЛЕНКО А.О., РЕШЕТНЯК О.С., КОСМЕНКО Л.С., КОВАЛЕНКО А.А. Химический состав речных вод в различных природных зонах Западной Сибири: пространственная неоднородность и тенденции изменчивости ...	75
КОСЕНКО Ю.В. Первичное продуцирование органического вещества в Азовском море в 2019 г. ....	80
КОСМЕНКО Л.С., РЕШЕТНЯК О.С., ДАНИЛЕНКО А.О., КОНДАКОВА М.Ю. Неоднородность распределения содержания соединений металлов в речных водах Европейской части России с учетом гидрохимической зональности .....	84
КУЛИЙ О.Л. Типизация водоемов дельты р. Кубань.....	92
ЛАПИНА Е.Е., КУДРЯШОВА В.В. Анализ многолетней динамики химического состава реки Донховка – притока Иваньковского водохранилища (Тверская область) .....	96
ЛАПИНА Н.М. Анализ гидрохимических показателей среды обитания гидробионтов в водных объектах рыбохозяйственного значения Московской области в различные сезоны.....	101
МАХИНОВ А.Н., МАХИНОВА А.Ф., КИМ В.И., ЛЮ ШУГУАН Влияние наводнений на миграционную активность тяжелых металлов, поступающих в водотоки с урбанизированных территорий.....	106
МИНАКОВА Е.А., ШЛЫЧКОВ А.П., КОНДРАТЬЕВ С.А., БРЮХАНОВ А.Ю. Особенности формирования биогенной нагрузки Куйбышевского водохранилища в пределах Республики Татарстан.....	111
НИЧИПОРОВА И.П., ЛОБЧЕНКО Е.Е. Динамика уровня загрязненности поверхностных вод на территории федеральных округов .....	115
НИЧИПОРОВА И.П., ЛЯМПЕРТ Н.А., ЛОБЧЕНКО Е.Е. Экологическое состояние Нижней Волги.....	120
РЕУТОВА Т.В., ДРЕЕВА Ф.Р., РЕУТОВА Н.В., ХУТУЕВ А.М. Распределение концентраций примесей в речных бассейнах центральной части Северного Кавказа .....	124
РЕШЕТНЯК О.С., КОСМЕНКО Л.С., ДАНИЛЕНКО А.О., КОНДАКОВА М.Ю., КОВАЛЕНКО А.А. Тенденции изменчивости антропогенной нагрузки на устьевых участках рек Арктической зоны России .....	129
РОГОЖИН В.С., ПОЛУХИН А.А. Влияние стока реки Лена на гидрохимическую структуру вод моря Лаптевых в летний сезон .....	134
РОМАШОВА К.В., БРЫЗГАЛО В.А., ТРЕТЬЯКОВ М.В. Пресноводные экосистемы Западного Шпицбергена в современных условиях антропогенного воздействия.....	138
РУДНЕВА И.И., ЗАЛЕВСКАЯ И.Н., ШАЙДА В.Г., МЕМЕТЛАЕВА Г.Н., ЩЕРБА А.В. Сезонная миграция азота и фосфора в гиперсоленом озере Галгасс (Крым).....	142

СЛОВЯГИНА А.Н., ПОЛЯНИН В.О., ФАЩЕВСКАЯ Т.Б. Пространственно-временная динамика качества воды городского водотока (на примере р. Лихоборка) .....	146
СОМОВ В.В., ОПЕКУНОВА М.Г., ОПЕКУНОВ А.Ю., КУКУШКИН С.Ю. Влияние горнорудного производства на миграцию металлов в аквальных системах степных ландшафтов .....	153
ФАЩЕВСКАЯ Т.Б., МОТОВИЛОВ Ю.Г. Моделирование загрязнения марганцем водотоков в бассейне Нижнекамского водохранилища .....	158
ФЕДОРОВ Ю.А. О механизме формирования $\delta^{34}\text{S}$ и $\delta^{18}\text{O}$ сульфатных ионов подземных и поверхностных вод до и после санации угольных шахт .....	163
ЧЕРНОГАЕВА Г.М., ЖУРАВЛЕВА Л.Р., МАЛЕВАНОВ Ю.А. Водные ресурсы Московского региона в XXI веке .....	169
ШАШУЛОВСКАЯ Е.А., МОСИЯШ С.А., ФИЛИМОНОВА И.Г., ГРИШИНА Л.В. Особенности гидрохимического режима Ириклинского водохранилища (на р. Урал) в различные по водности годы .....	178
ШЕСТЕРКИН В.П., ШЕСТЕРКИНА Н.М. Динамика содержания аммонийного азота в воде Среднего Амура в зимнюю межень в 2015–2020 годах .....	183
ШЕСТЕРКИН В.П., ШЕСТЕРКИНА Н.М. Гидрохимия малых рек города Хабаровск в половодье .....	187
ШИЛЬКРОТ Г.С., КУДЕРИНА Т.М., ЛОБКОВСКАЯ Л.Г. Роль природных факторов в формировании состава воды горных рек (Северный Кавказ, Республика Кабардино-Балкария) .....	191
ШИШКИН А.И., КУВАТОВ И.А. Имитационная модель бассейна реки Вахш (Республика Таджикистан) для обоснования компенсационных мероприятий по обеспечению заданного качества поверхностных вод .....	195

## СЕКЦИЯ 2. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ, ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

АТАБИЕВА Ф.А. Проблемы экологического нормирования поверхностных вод бассейна р. Терек .....	198
БУДНИК С.В. Изменение температуры воды по длине реки Горынь в связи с последствиями изменений климата .....	201
ЖУКОВА С.В., ПОДМАРЕВА Т.И., БУРЛАЧКО Д.С., ФОМЕНКО И.Ф., КАРМАНОВ В.Г., БЕЗРУКАВАЯ Е.А., ЛУТЫНСКАЯ Л.А. Гидролого-экологические аспекты типизации водных объектов Ростовской области для целей товарной аквакультуры .....	206
КОМАРОВ Р.С. Природный фактор как возможная причина экстремально высоких концентраций ионов меди в воде притоков реки Кубань .....	210

КУЗЬМИЧ В.Н., ПОНОМАРЕВА Л.С. О природоохранных нормативах, разработанных для химических показателей состояния поверхностных водных объектов .....	215
ОТАРОВА А.С. Многолетняя изменчивость уровня содержания соединений молибдена и марганца в реке Малка .....	220
ПЕЧКИН А.С., АГБАЛЯН Е.В., ШИНКАРУК Е.В., КРАСНЕНКО А.С. Оценка качества донных отложений озер в окрестности с. Гыда, Тазовского района Ямало-Ненецкого автономного округа.....	224
ПОМЕЛЯЙКО И.С. Анализ качества поверхностных вод курортов региона Кавказских Минеральных Вод .....	229
ПОТАПОВА Т.М., ПАРШИНА Т.В., ФЕДОРОВА И.В., ШУВАЛОВА Е.С. Современное гидрохимическое состояние водоемов урбанизированных территорий на примере Санкт-Петербурга.....	234
ПРЕДЕИНА Л.М., ФЕДОРОВ Ю.А., ДМИТРИК Л.Ю. К вопросу о взаимосвязи содержания железа с показателями активности щелочной фосфатазы и эстераз сестона в Азовском море .....	238
РЕШЕТНЯК О.С. Состояние биоты рек степной зоны в зоне влияния техногенных источников (на примере Ростовской области).....	244
САЗОНОВ А.Д. Экологические проблемы и гидрологические особенности рек Сал и Северский Донец (в пределах Ростовской области).....	249
СЕДОВА С.А., ДМИТРИЕВ В.В. Интегральная оценка экологического статуса водоема и нормы воздействия на его водную экосистему .....	254
СИМОНЯН Г.С., СИМОНЯН А.Г., ПИРУМЯН Г.П. Анализ экологического состояния рек бассейна Севан с помощью армянского индекса качества воды .....	260
СМИРНОВ М.П. Региональные особенности общего и антропогенного стока биогенных элементов и органических веществ рек России.....	264
ТРОФИМЧУК М.М. О термодинамических решениях в экосистемной оценке водных объектов и мониторинге поверхностных вод.....	269
ХОРУЖАЯ Т.А. Химико-биологические критерии и параметры экологического неблагополучия как возможная основа для разработки мер по реабилитации водохранилищ.....	281
ЦЕМА Н.И., БУГАЕВ Л.А., ЛУЖНЯК В.А. Характеристика репродуктивного потенциала бычка-кругляка <i>Neogobius Melanostomus</i> (Pallas, 1814) в условиях повышения солености вод Азовского моря .....	286
ЧЕМБАРISOV Э.И., ХОЖАМУРАТОВА Р.Т., РАХИМОВА М.Н., ШОДИЕВ С.Р. Современное качество речных вод Узбекистана .....	293

# ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ – 100 ЛЕТ НАУКИ И ПРАКТИКИ: ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

М.М. Трофимчук

*Гидрохимический институт, Ростов-на-Дону, m.trofimchuk@gidrohim.com*

В 2020 году исполняется 100 лет со дня организации Гидрохимического института, созданного по инициативе профессора, доктора химических наук, заслуженного деятеля науки и техники Павла Александровича Кашинского. Это первый в стране и за рубежом институт, ставивший своей главной целью изучение химического состава природных вод в тесной взаимосвязи с формирующими их процессами. Ядро института составила эвакуированная из Петрограда в 1917 году химическая лаборатория Гидрометрической части Отдела земельных улучшений России, которую возглавлял П.А. Кашинский.

Талантливый ученый и организатор П.А. Кашинский, руководивший институтом более 30 лет, заложил основы гидрохимии, создал ее методическую базу – методы анализа компонентного состава природных вод и лечебных грязей (донных отложений), разработал методологию исследования водных объектов и впервые провел комплексное исследование грязевых озер и прудов засушливых районов юга России.

Страстный пропагандист гидрохимии, Павел Александрович основал печатный орган «Гидрохимические материалы», организовал ежегодное проведение «Всесоюзных Гидрохимических совещаний». В «Гидрохимических материалах» участвовали более пятидесяти известных ученых России: среди них академики В.И. Вернадский, Н.С. Курнаков, проф. В.М. Арциховский, С.П. Вологдин, И.Д. Зелинский, В.Н. Меншуткин и др. Первый том «Гидрохимических материалов» вышел в 1915 г. Вся 100 – летняя история института тесно связана с гидрохимией, трудами его ученых создавались и успешно развивались практически все ее научные направления. В 1938 году институт был включен в состав учреждений АН СССР.

Неоценимый вклад в разработку теоретических основ гидрохимии внес член-корреспондент АН СССР Олег Александрович Алекин, руководивший Гидрохимическим институтом в 1951-1960 годах. При его непосредственном участии активно создавали теоретические основы формирования химического состава природных вод суши, вели исследования гидрохимического режима водных объектов, химического состава атмосферных осадков, карбонатно-кальциевого равновесия. Большие фундаментальные работы выполнены по расчету стока растворенных химических веществ с территории СССР.

В этот период докторами химических наук П.А. Крюковым и В.Г. Дацко были созданы новые направления гидрохимии: изучение химического состава горных растворов (поровых вод) и группового и индивидуального состава органического вещества природных вод. Решен ряд конкретных практических задач народного хозяйства страны, связанных с гидротехническим строительством в Средней Азии, Казахстане, в бассейнах Волги и Дона, с поисками полезных ископаемых на Северном Кавказе и изучением

химического состава атмосферных осадков в Антарктиде. Гидрохимический институт с этого времени становится ведущим научно-исследовательским центром в нашей стране и единственным в мире институтом в области гидрохимии природных вод.

В 1963 г. Гидрохимический институт был передан в ведение Главного Управления Гидрометеорологической службы СССР. С этого периода институт становится ведущим научно-исследовательским, научно-методическим и координационным центром в стране по проблеме качества поверхностных вод суши и их загрязнения.

Продолжая научную и практическую направленность исследований, доктор географических наук, директор института в 1966-1977 гг. А.А. Зенин расширил исследования по изучению влияния различных источников загрязнения на качество поверхностных вод страны, активно участвуя в составлении «Схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов». Одним из важнейших направлений в этот период стала разработка научных основ организации и функционирования общегосударственной службы наблюдений и контроля (ОГСНК) за загрязнением поверхностных вод суши, которые были успешно решены к середине 70-х годов.

На новый уровень были переведены гидрохимические исследования заслуженным деятелем науки и техники РФ, доктором геолого-минералогических наук, членом-корреспондентом РАН А.М. Никаноровым, возглавлявшим институт в 1977-2014 гг.

Под его руководством проведен широкий комплекс фундаментальных и прикладных исследований состояния водных экосистем в условиях антропогенного воздействия и работы по совершенствованию научно-методических и организационных основ мониторинга поверхностных вод. Разработка научных основ режимного и оперативного мониторинга поверхностных вод суши, комплекса методов химического и биологического анализа, включая автоматизированные методы и автоматические системы контроля качества вод, позволили Гидрохимическому институту стать ведущим научно-исследовательским учреждением РФ по проблемам качества поверхностных вод.

Возглавляющий институт с 2014 года кандидат биологических наук М.М. Трофимчук, сохраняя и развивая на современной основе традиционные направления научных исследований, особое внимание уделяет вопросам модернизации гидрохимической наблюдательной сети Росгидромета, совершенствованию системы мониторинга поверхностных вод, цифровизации технологических процессов сбора, обработки и анализа гидрохимической информации. Под его руководством и при его непосредственном участии разработаны новые подходы к нормированию антропогенного воздействия и экосистемной оценке водных объектов, опирающиеся на фундаментальные законы функционирования сложных систем.

Проблема оценки качества поверхностных вод в настоящее время имеет не только особую актуальность с научной точки зрения, но приобретает в последнее десятилетия острый социально-экономический характер. Эти



обстоятельства обусловлены возрастанием роли антропогенных факторов, а также заметными изменениями глобального и регионального климата.

В настоящее время в Гидрохимическом институте проводится ежегодный анализ гидрохимической информации и оценка на его основе качества воды, тенденций и динамики загрязненности и состояния поверхностных вод Российской Федерации. Результаты этой работы являются основой информационных материалов к «Государственному докладу», ежегодников «Качество поверхностных вод Российской Федерации», аналитических справок по запросам федеральных и региональных органов государственной власти, министерств и ведомств России и международных организаций, в частности ЮНЕП, ВОЗ, Европейской экономической комиссии по вопросам окружающей среды, ГРИНПИС. Объективная информация о фактическом качестве и загрязненности поверхностных вод, представленная в ежегодных информационных материалах, имеет важное значение для решения задач по оздоровлению водных объектов страны в целом, являясь важным элементом информационной основы для поддержки и реализации главных целей в области охраны поверхностных вод, в том числе и в осуществлении государственного надзора и контроля за источниками загрязнения.

Угроза ухудшения экологической ситуации вызывает необходимость совершенствования нормативных основ природоохранной деятельности, развитие и усовершенствование методических основ алгоритмизации и автоматизации обработки гидрохимической информации, разработки новых подходов оценки качества воды и состояния водных экосистем, совершенствование и развитие системы мониторинга.

Необходимо развивать современные информационно-аналитические методы получения и представления объективной информации о фактическом качестве и загрязненности поверхностных вод, повышая оперативность обеспечения органов государственной власти, заинтересованных ведомств и населения страны.

Определяющим для государственного мониторинга водных объектов является состав и функционирование государственной наблюдательной сети Росгидромета за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши. Именно от неё в Единый государственный фонд данных поступает основная часть информации о химическом составе поверхностных вод суши России.

Состав пунктов наблюдений государственной наблюдательной сети формируется в соответствии с принципами, разработанными Гидрохимическим институтом, изложенными в руководстве «Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши. В настоящее время наблюдения проводятся на 1091 водном объекте (из них 953 водотока и 138 водоёмов) в 1667 пунктах и 2855 точках отбора.

Данные, получаемые на государственной наблюдательной сети, основанные на единой методологической и методической базе, обобщаются в разработанном в Гидрохимическом институте режимно-справочном банке данных «качество поверхностных вод» (РСБД КПВ). Банк содержит многолетнюю информацию о состоянии и загрязненности воды водных

объектов страны. Разработана автоматизированная информационная система сбора, обработки, обобщения гидрохимической информации и подготовки информационных документов о загрязнении поверхностных вод на федеральном уровне и в сетевых подразделениях Росгидромета (Гидрохим ПК). Программный комплекс позволяет выпускать регламентную продукцию, расчет комбинаторного индекса загрязненности и коэффициента комплексности, комплексную оценку степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям, классификацию качества воды. Ежегодно обрабатываются результаты анализа более 27000 проб воды, на основе которых систематически готовятся информационные документы для своевременного и качественного обеспечения органов государственной власти, отдельных отраслей экономики и населения Российской Федерации данными о состоянии и загрязнении поверхностных водных объектов. Институт является головной организацией по реализации международной программы «Глобальная система мониторинга окружающей среды: водные объекты» (ГСМОС/ВОДА) в России.

На протяжении всех лет в Гидрохимическом институте продолжалось совершенствование и создание новых методов и подходов химического анализа воды. Первое «Руководство по химическому анализу вод суши», унифицировавшее приемы и методы анализа природных вод, было составлено П. А. Кашинским в 1938-1940 гг. В последствии были выпущены «Краткое руководство по химическому анализу воды в экспедиционных условиях» под редакцией профессора П.А. Кашинского, «Химический анализ вод суши», «Современные методы химического анализа природной воды» под редакцией О. А. Алекина.

В связи с расширением программ наблюдений химического состава вод на сети Гидрометслужбы, созданием новых методов определения макро- и микрокомпонентов, оснащением лабораторий сети более совершенной техникой и приборами в 1973 г. было выпущено третье издание Руководства, в котором были заменены многие методы, признанные устаревшими, и включен ряд новых методик: определение органического углерода, азота, тяжёлых металлов, а также нефтепродуктов, хлорорганических пестицидов, синтетических поверхностно активных веществ. Отдельной главой впервые были прописаны процедуры контроля и проверки полученных результатов анализа воды.

Необходимость получения все более подробных сведений о химическом составе вод, связанных с увеличением числа нормируемых веществ, числа определяемых показателей и контролируемых водных объектов, потребовало создание нового Руководства. Четвертое Руководство под редакцией А.Д. Семёнова вышло в 1977 г. Уровень включенных в него методик соответствовал мировому. Впервые в Руководстве появились методы газовой хроматографии, атомно-абсорбционной спектрофотометрии. Это Руководство стало основой методического обеспечения как для лабораторий Гидрометслужбы, так и лабораторий других ведомств на длительный период

В середине 1980-х гг. наступил очередной этап совершенствования методической базы системы мониторинга окружающей среды – были начаты

работы по метрологической аттестации: впервые определены реально достижимые характеристики методик и оценены составляющие погрешности определения, а также уточнены диапазоны определяемых концентраций веществ. Разработка алгоритмов контроля качества проводилась совместно с УНИИМ Госстандарта СССР. С того времени система постоянно развивалась в соответствии с новыми метрологическими требованиями к выполнению количественного химического анализа воды на всех его стадиях, начиная от отбора проб до обработки и представления информации.

В это же время была организована система контроля качества измерений показателей состава воды в сетевых лабораториях, выполняющих контроль качества пробоотбора путём анализа холостых полевых проб, оперативного контроля качества измерений, благодаря которым в значительной степени сокращается риск получения недостоверной информации. Ежегодно Гидрохимический институт с целью проверки качества выполнения используемых методик анализа и соблюдения метрологических характеристик методик проводит внешний контроль качества измерений путём рассылки контрольных проб.

Дальнейшее развитие методическая основа гидрохимического мониторинга получила в Руководстве по химическому анализу поверхностных вод суши, изданном в 2009 г. и 2012 г., включившем как усовершенствованные существующие, так и новые разработанные методики с учётом всех современных требований к методическому обеспечению системы мониторинга объектов окружающей среды. Отдельное совершенствование получили методы анализа донных отложений и взвешенных веществ, позволяющие анализировать содержание хлорорганических пестицидов, сульфидов, метана, нефтепродуктов и тяжёлых металлов.

В институте большое внимание уделяется разработке и внедрению методических руководств, касающихся обработки гидрохимической информации о качестве поверхностных вод суши, получаемой сетью Росгидромета, в том числе проведению расчетов выноса загрязняющих веществ с водным стоком основных рек с территории РФ. В части научной проблематики проводятся исследования по совершенствованию и развитию методов прогнозирования изменения качества речных вод во времени и по длине рек. За последнее десятилетие выполнены важные научные разработки, связанные с совершенствованием обработки результатов гидрохимических наблюдений для решения актуальных задач мониторинга поверхностных вод. Предложены методы расчета условных фоновых концентраций химических веществ для установления нормативов допустимых сбросов. В рамках решения данной проблемы была разработана научно обоснованная методика расчета смешения и разбавления водных масс, поступающих в водотоки от различных источников. Разработан ряд методов прогнозирования поведения загрязняющих веществ в водных объектах на основе математического моделирования: изменения их содержания и трансформации, распространения по речной сети зон высоко загрязненных вод с учетом форм миграции наиболее опасных загрязняющих веществ, методы расчета массопереноса химических веществ с

речным водным стоком. В решении этих задач использованы новые оригинальные научно обоснованные подходы. Все необходимые расчеты для моделирования обеспечены разработанным оригинальным программным обеспечением.

Начиная с конца 70-х гг. в научной тематике Гидрохимического института появилось направление по изучению химико-биологического состояния водных объектов различных регионов России. Исследования включали разработку методов оценки состояния водных экосистем, а также изучение процессов, определяющих их развитие в условиях антропогенного воздействия.

Широкий спектр научных исследований в этой области в 80-90-х годах включал выявление особенностей изменения химико-биологического состояния водных экосистем; изучение процесса восстановления экосистем после негативного воздействия, изучение закономерностей процесса эвтрофирования озер и водохранилищ.

В этот период разработаны методы оценки загрязненности пресноводных экосистем по показателям развития планктонных сообществ, а также сформулированы основные принципы организации подсистемы мониторинга антропогенного эвтрофирования пресноводных экосистем, разработаны принципы и критерии оценки риска воздействия приоритетных загрязняющих веществ на поверхностные воды суши.

Начиная с 2007 г. проводились исследования, направленные на выявление региональных особенностей функционирования речных экосистем, изучение динамики степени загрязненности воды и состояния водных биоценозов.

Впервые были выявлены экологически допустимые уровни воздействия на экосистемы арктических рек и оценен риск антропогенного воздействия на водные экосистемы России. Изучена антропогенная трансформация экологического состояния более 300-х речных экосистем России в условиях высокого и экстремально высокого уровня загрязненности водной среды.

Выполнено научное исследование по оценке состояния водных объектов в различных широтных зонах России на основе ретроспективного анализа. На основе анализа информации о состоянии более чем 400 водных объектов России разработаны концептуальные подходы к обоснованию региональных нормативов качества воды и подготовлены предложения по выбору пороговых значений показателей качества воды для водных объектов, находящихся в различных природно-климатических условиях.

Исследование природных экосистем и процессов в арктическом регионе с учетом происходящих климатических изменений является одним из приоритетных научных направлений в мировом масштабе. Арктический регион является одним из наиболее уязвимых, а арктические экосистемы отличаются чрезвычайно высокой чувствительностью к климатическим изменениям.

Активные исследования речных экосистем арктической зоны РФ начались с работ в рамках ФЦП «Мировой океан» в начале 2000-х гг. Анализ и обобщение многолетних гидрохимических и гидробиологических данных о состоянии водных экосистем Российской Арктики позволили выявить

тенденции изменений их химико-биологического состояния, пространственной изменчивости степени загрязненности воды, а также оценить последствия интенсивной хозяйственной деятельности на состояние арктических рек.

В настоящее время проводятся исследования, направленные на выявление тенденций многолетних изменений химического состава воды и оценку уровня экологического риска в речных экосистемах Российской Арктики под влиянием нестационарного климата и хозяйственной деятельности на водосборах. Многолетние исследования лягут в основу нормативно-методического обеспечения мониторинга состояния и загрязнения водных объектов арктического региона.

Особое место в региональных исследованиях водных объектов России занимает озеро Байкал. Байкальская природная территория является эталоном качества природы, а озеро Байкал во многом является визитной карточкой РФ. Государственный экологический мониторинг загрязнения окружающей среды на озере Байкал Росгидрометом осуществляется более 50 лет. Основное внимание уделяется акваториям озера, потенциально или реально подверженным антропогенному воздействию. Гидрохимические наблюдения на Байкале в районе сброса сточных вод Байкальского целлюлозно-бумажного комбината начали проводиться за год до ввода в эксплуатацию комбината. С 1969 г. существует постоянная система гидрохимических, геохимических, гидробиологических и микробиологических наблюдений в районах антропогенного воздействия г. Байкальска, в районах портов Южного Байкала, в районе северной оконечности озера в зоне влияния трассы БАМ и авандельте р. Селенга. Также наблюдения проводятся по фоновому продольному разрезу через все озеро. Осуществляется регулярный контроль химического состава атмосферных осадков в 8 пунктах, расположенных на побережье озера и гидрохимический анализ снежного покрова. Помимо этого, территориальные управления Росгидромета проводят наблюдения на 33 реках, впадающих в озеро.

Информация о химическом составе воды позволяет лишь косвенно предположить его влияние на биотические структуры водных экосистем. В связи с чем возникла необходимость разработки и совершенствования методов биотестирования, позволяющих непосредственно оценивать токсичность воды и донных отложений. Одно из требований, обеспечивающих эффективность токсикологических оценок – оперативность получения информации о токсических свойствах воды. С этой целью в Гидрохимическом институте разрабатываются новые и совершенствуются существующие методики биотестирования посредством автоматизации ведения экспериментов, что обеспечивается использованием современных приборов и оборудования. Методики биотестирования, разработанные на таких подходах, ориентированы на специалистов среднего звена и перспективны для более широкого применения в сетевых лабораториях Росгидромета.

Одно из перспективных направлений исследований, получивших развитие в последние годы – дистанционное зондирование водных объектов. Это направление начало развиваться в Гидрохимическом институте в середине 70-х

годов XX века после запуска первых спутников Земли с многозональной аппаратурой природоресурсной направленности. Проведенное в 80-х годах исследование возможности использования данных Общегосударственной сети наблюдений и контроля в качестве опорных для дешифрирования космической информации для крупных водных объектов показало их непригодность для этих целей. В связи с этим в Гидрохимическом институте сосредоточились на изучении спектральных свойств поверхностных вод по дистанционной информации нижнего уровня. В последние годы Гидрохимическим институтом получена уникальная дистанционная спектрометрическая информация о спектральных свойствах малых водных объектов юга России. Вся информация собрана в специализированной базе данных, зарегистрированной в ФИПС. На основе собранной в базе данных информации предложен и запатентован новый способ оценки трофности водных объектов по дистанционной спектрометрической информации видимого диапазона.

Результаты по построению биооптических моделей, в частности Нижнего Дона и Цимлянского водохранилища, могут служить основой дистанционного зондирования Земли из космоса для крупных пресных озер и водохранилищ в части интерпретации перспективной гиперспектральной информации.

Параллельно с натурными дистанционными наблюдениями в институте развивается направление, связанное с теоретическим развитием представлений о физических процессах, происходящих в мутных продуктивных водах II типа. Эта работа позволила построить математическую модель, основанную на применении теории светорассеяния, позволяющую прогнозировать ситуации, наблюдаемые в реальных водных экосистемах при изменении концентрации оптически активных компонентов.

Развитие дистанционной спектрометрии предполагается вести в направлении расширения базы данных, в том числе за счет наблюдения новых водных объектов и проведения спектрометрических съемок параллельно с гидробиологическими. Перспективным представляется построение комплекса биооптических моделей, в частности по фикоцианину и взвешенным веществам, а также сбор информации об оптически неактивных компонентах поверхностных вод и акваландшафтах. Конечным результатом этих работ должно стать внедрение дистанционных методов в сетевых подразделениях Росгидромета.

Значимость исследований по оценке природных концентраций растворённых химических веществ тесно связана с вопросами оценки качества водных ресурсов, которые в настоящее время имеют преимущественно потребительский характер, увязывая понятие качества с «требованиями конкретных водопользователей».

В то же время очевидно, подход к этому вопросу должен носить не антропоцентрический, а экосистемный характер и под качеством вод следует понимать их «физико-химические свойства, которые отвечают требованиям существования и воспроизводства видов, адаптированных в процессе эволюционного развития к существованию в условиях конкретного водоёма». При таком подходе к оценке качества водных ресурсов ключевое значение

имеют не ПДК, полученные в лабораторных условиях и единые для всей страны, а природное содержание химических веществ, количественная оценка которого и по сей день остается нетривиальной задачей. К настоящему времени в Гидрохимическом институте разработан способ определения природных концентраций растворенных химических веществ на основе анализа фазовых портретов многолетних эмпирических данных. Получаемые таким способом значения природных концентраций агрегируют реально сложившиеся в природе полные комплексы воздействий на водные экосистемы, в том числе и косвенные. Разрабатываются возможности построения модельного фазового портрета по системе уравнений, описывающих динамику концентрации исследуемого вещества в водотоке.

В последние годы все более очевидны недостатки подходов оценки состояния водных экосистем, основанных на сравнении концентраций загрязняющих веществ с предельно допустимыми концентрациями или частных показателях отклика отдельных биотических компонентов водных экосистем. Этим была продиктована необходимость проведения в Гидрохимическом институте работ по созданию метода оценки состояния водных экосистем как целостных структур на основе термодинамических параметров состояния, в частности, энтропии. Научная обоснованность и практическая значимость такого подхода была подтверждена многочисленными экспериментами на модельных природных экосистемах, в ходе которых были выявлены фундаментальные закономерности их функционирования. Были установлены критерии эволюции и устойчивости водных экосистем при воздействии токсических факторов, выявлены особенности реакции экосистем и установлена мера воздействия на внешние воздействия. Развитие этих исследований привело к созданию способа экосистемной оценки водных объектов по изменению энтропии на основе данных о концентрации растворенного кислорода и температуре воды в водном объекте. Такой подход исключает экспертный субъективизм при оценке состояния экосистем, сводит к минимуму операционные ошибки, а инструментальные измерения и возможность передачи данных по беспроводным каналам связи позволяют организовать мониторинг состояния водных экосистем практически в режиме реального времени.

Обладая серьезной теоретической и аналитической базой, опытом проведения экспериментальных, лабораторных и натурных исследований, организации режимных наблюдений и оперативных работ по расследованию чрезвычайных экологических ситуаций, прогнозу их последствий, сотрудники Гидрохимического института проводят исследования по основным фундаментальным и прикладным вопросам гидрохимии поверхностных вод суши. Совершенствование научно-методических основ оценки состояния водных экосистем является традиционным направлением научной деятельности Гидрохимического института.

Научные результаты работ сотрудников Гидрохимического института чрезвычайно востребованы учеными и специалистами природоохранных

направлений деятельности. Этому способствует публикационная активность ученых Гидрохимического института.

Результаты многолетних исследований представлены в многочисленных монографиях, посвященных проблемам гидрохимии и гидроэкологии водных объектов России, вопросам оценки состояния водных экосистем и их загрязнения под воздействием антропогенных факторов. Результаты работ опубликованы в многочисленных статьях в ведущих отечественных и зарубежных научных изданиях. Гидрохимическим институтом издано более 150 руководящих документов по вопросам химического анализа воды и донных отложений, а также организации и осуществления различных подсистем мониторинга водных объектов.

Основными прикладными и фундаментальными научными направлениями деятельности института в ближайшей перспективе следует считать совершенствование и оптимизацию государственной системы мониторинга поверхностных водных объектов.

Очевидна необходимость постоянной разработки и пересмотра методологических, нормативных и методических документов по техническому регулированию, метрологическому обеспечению измерений и стандартизации в области мониторинга поверхностных водных объектов.

Разработка новых методов оценки качества вод и экологического состояния водных экосистем позволит получать более адекватную оценку антропогенного воздействия на водные объекты и оптимизировать процессы управления водными ресурсами. Своевременность получения информации о состоянии водных объектов может быть обеспечена развитием автоматизированных и дистанционных методов наблюдения и их широким применением в системе государственного мониторинга.

На достижение этих же целей должно быть направлено более широкое внедрение специальных программ мониторинга в речных бассейнах: наблюдения за донными отложениями и взвешенными веществами, засолением, токсичностью, антропогенным эвтрофированием, особенно на трансграничных водных объектах.

Необходимо повышение оперативности и своевременности доведения до потребителя информации о состоянии водных объектов и качестве поверхностных вод. Этому должны способствовать развитие современных методов и подходов анализа и представления пространственно-временных изменений качества вод, степени их загрязненности с учетом характера антропогенной нагрузки на бассейновом, территориальном и региональном уровне, в частности, на основе ГИС-технологий.

Исследования по оценке антропогенного воздействия и состояния водных объектов, трансформации абиотической и биотической компонент экосистем в условиях климатических изменений будут способствовать реализации «Экологической доктрины РФ», «Стратегии экологической безопасности РФ» и других экологических инициатив в области экологической политики России. Результаты наших исследований в этом направлении могут быть использованы при разработке природоохранных мероприятий в целях устойчивого развития



страны и будут способствовать сохранению и восстановлению водных объектов до состояния, обеспечивающего экологически благоприятные условия жизни населения.

P. S.

Во время написания этого беглого обзора деятельности Гидрохимического института возникла мысль, как себе мог представлять институт, а точнее гидрохимию, через 100 лет его основатель в 1920 году. Павел Александрович работал в институте до начала пятидесятых годов прошлого века. В то время, наверное, уже можно было более-менее достоверно предположить, что развитие гидрохимии будет идти по пути расширения анализируемой базы и точности измерений за счет внедрения физико-химических методов и соответствующей приборной базы. Просматривались и прикладные, практические направления развития института. Собственно, одни из первых исследований – изучение лечебных грязей, носили чисто практический характер. И в настоящее время большая часть работ Гидрохимического института носит прикладной характер, обеспечивая научно-методическое руководство системы мониторинга загрязнения и состояния поверхностных вод. В 1920 году вряд ли можно было предположить столь конкретно его судьбу.

Прогнозы дело не благодарное, но увлекательное. Итак, 2120 год. Гидрохимический институт – ни одного знакомого лица. По коридорам снуют привлекательные лаборантки-роботы (жаль, что пластмассовые), выполняющие рутинную работу вроде мытья посуды и приготовления кофе для ученых. Немногочисленные ученые в зимнем саду размышляют о судьбе Гидрохимического института в следующие сто лет. Традиция иногда приходиться на работу в институт сохранилась. По общему мнению, перспективы представляются «вполне себе», благодаря прочному фундаменту, заложенному в первом веке. Все прогрессивное человечество отмечает 200-летие Гидрохимического института. Каких же успехов добился институт за второй век своего существования? Начиная с 2014 года, чиновники от Министерства природных ресурсов и экологии прочили лишение института его статуса. Тому была основная причина – недостаток денежных средств в казне. Но к 2030 году Россия стала второй экономикой мира, вопрос о ликвидации Гидрохимического института отпал сам собой на ближайшие 100 лет. Нормальное, достаточное финансирование позволило институту развиваться в русле движения мировой науки. В течение первого века своего существования отчетливо прослеживалось развитие гидрохимии в направлении все более широкого применения для анализов приборов. К 2042 году физико-химические методы анализа практически вытеснили из употребления «мокрую химию», оставив ей место узких специальных анализов. Прекратилась погоня за все более низкими пределами обнаружения веществ в воде. Это связано не с ограниченными возможностями аналитической базы, а с разработкой новых методов оценки влияния ксенобиотиков на жизнь экосистем, основанных на строгой

доказательной научной базе, показавших возможность водных экосистем игнорировать их влияние. К тому же повсеместное внедрение в производстве наилучших доступных технологий исключило из экологии понятие ксенобиотиков. Основой для развития промышленности в направлении «абсолютно» чистых для экосистем и человека технологий стала организация управления промышленностью с участием искусственного интеллекта. С его помощью стало возможным показать большую эффективность и рентабельность производства дружелюбного к окружающей среде и организовать технологические процессы на этой основе. Созданы благоприятные условия для устойчивого развития социо-экологических систем, как основы человеческого общества.

Тем не менее, не отпала необходимость в мониторинге состояния окружающей среды, в том числе водных объектов.

Выявленные в начале двухтысячных годов закономерности функционирования водных экосистем остались актуальными в течение грядущих десятилетий как основа для нормирования антропогенного воздействия и управления водными ресурсами. Термодинамический подход получил развитие благодаря широкому применению автоматических станций мониторинга и дистанционному зондированию планеты. Стало возможным определять концентрации веществ в воде водных объектов по спутниковой информации и информации с беспилотников.

«Побочным» результатом исследований на этой основе стало доказательство биосферных причин глобального потепления. Просто биосфера согласованно перестраивалась, а любая перестройка биологических систем вызывает повышенные, по сравнению со стационарным состоянием, затраты и диссипацию энергии. Споры ученых о том, явилась ли такая перестройка результатом саморазвития биосферы или спровоцирована технологическим развитием, продолжаются по сей день. Чем с удовольствием пользуются политики, заключая новые соглашения по регулированию суверенных экономик. В числе последних был нашумевший «Рязанский меморандум» об ограничении частоты дыхания во время шведской ходьбы. Россия до сих пор к нему не присоединилась.

Спрогнозировать будущее в деталях маловероятно. Но предположить направление развития, исходя из прошлых тенденций, можно. Очевидно, что эволюция любых организованных систем идет в направлении более эффективного использования энергии для собственного воспроизводства и развития. Не исключение и общество, социум. Что касается человека, то он стремится избавиться от рутинных процедур, освободив себя для творчества, то для чего он был создан.

Прогнозировать будущее в деталях – занятие бесперспективное. А вот пометать о будущем, представляя его в деталях – удивительно интересно.

Мечтайте, господа Ученые! Мечты украшают Жизнь! Мечты – источник Творчества!

# **СЕКЦИЯ 1. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД СУШИ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ, ТРАНСФОРМАЦИЯ И МИГРАЦИЯ РАСТВОРЕННЫХ И ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И СОЛЕВОГО СТОКА РЕЧНЫХ ВОД НАХИЧЕВАНСКОЙ АВТОНОМНОЙ РЕСПУБЛИКИ**

М.А. Абдуев

*Азербайджанский Государственный Педагогический Университет, Институт Географии НАНА, Баку, abduyevm@gmail.com*

Качество воды, используемой в хозяйстве, имеет особенное значение в условиях Нахичеванской Автономной Республики, где испаряемость в большинстве районов превышает норму осадков в 2 раза и более, что приводит к соленакоплению и осолонению почв. Поэтому оценка качества вод по химическому составу является важнейшей задачей.

О.А. Алекиным [4] все природные воды по преобладанию анионов делятся на три класса: гидрокарбонатный, сульфатный и хлоридный. Каждый класс по эквивалентному преобладанию катионов делится на три группы: кальциевую, натриевую и магниевую.

Исследование С.Г. Рустамова и Р.М. Кашкай [6] показывает, что в речных водах Азербайджана распространены все три класса вод.

Гидрокарбонатные воды преимущественно кальциевой группы характерны для рек почти всего бассейна Куры и Араза, а также для бассейнов рек северо-восточного Азербайджана.

Сульфатные воды преимущественно натриевой группы характерны для рек южного склона Большого Кавказа (междуречье рр. Белоканчай-Катехчай и междуречье рр. Гирдыманчай-Атачай).

Хлоридные воды, относящиеся также к натриевой группе, характерны для незначительной площади республики, главным образом, для северо-восточной части Ленкоранской природной области (р. Виляшчай и плавни) и среднего течения р. Астарачай.

Проведенные нами исследования [1, 3] показывают, что воды 87 % рек Азербайджана относятся к гидрокарбонатному, около 10 % к сульфатному, а более 3 % к хлоридному классу.

Речные воды предгорно-горной зоны характеризуются невысокой минерализацией с преобладанием в ионном составе кальция и гидрокарбонатов. Среднегодовалая минерализация их вод колеблется в пределах 160-400 мг/л. Внутригодовые величины минерализации здесь антибатны величине стока. В соответствии с этим минимальная минерализация воды (160-390 мг/л) наблюдается в весеннее половодье (апрель-июнь). К лету минерализация воды достигает максимальных значений и составляет 265-500 мг/л.

В формировании химического состава речных вод предгорно-горной зоны преобладающую роль играют природные факторы, а для речных вод равнинной

зоны существенную роль приобретают антропогенные факторы за счет интенсивного развития орошаемого земледелия. При этом минерализация возвратных коллекторно-дренажных вод в 2-3 раза выше, чем в речных водах. Вследствие этого воды рек равнинной зоны обогащаются сульфатными ионами, ионами хлора, магния и натрия. Соответственно повышается общая сумма содержания солей в водах этих рек.

Среднегодовое минерализация речных вод равнинной зоны изменяется от 360 до 1740 мг/л, а внутригодовое изменение минерализации подчинено сезонной динамике. В летний период (июнь-август) минерализация воды поднимается до 500-1740 мг/л, а в половодье понижается, составляя 360-490 мг/л.

Концентрация главных ионов так же, как и величина минерализации воды, подвержена влиянию природных и антропогенных факторов и зависит от зоны расположения водосбора. В воде рек предгорной и горной зоны содержание ионов кальция колеблется от 43 до 69 %, а равнинной – от 31 до 46. Содержание гидрокарбонатных ионов изменяется в пределах 11-77, ионов магния – 22-38, суммы ионов натрия и калия 7-44, сульфатных ионов – 16-66 и, хлоридных ионов – 7-35 %.

В данном исследовании для расчетов гидрохимических показателей использованы данные мониторинга, проводимого Департаментом по мониторингу окружающей среды Министерства экологии и природных ресурсов Азербайджана за период 1995-2018.

Периоды наблюдений за химическим стоком на 12 использованных постах довольно разнородные. Поэтому первоочередной задачей являлось приведение коротких рядов наблюдений к длительному и, по возможности, одинаковому периоду. Для удлинения коротких рядов наблюдений наиболее приемлемым является использование связи  $C_{\text{ср.мес.}} = f(Q_{\text{ср.мес.}})$ . Здесь  $C_{\text{ср.мес.}}$  величина среднемесячной минерализации воды,  $Q_{\text{ср.мес.}}$  – среднемесячный расход воды. Наиболее длинные ряды наблюдения имеются на пунктах: р. Джагрычай - с. Паиз и р. Гиланчай - с. Башдиза, эти данные использованы в качестве опорных для удлинения коротких рядов наблюдений. Основываясь на выявленной зависимости между среднемесячными расходами воды и величиной минерализации в пунктах - аналогах, данные по принятым опорным пунктам были приведены к однородному длительному периоду – 1995-2018 гг. (24 года). Величина коэффициента корреляции связи  $C_{\text{ср.мес.}} = f(Q_{\text{ср.мес.}})$  изменяется в пределах от 0,77 до 0,94. Пункты, которые были приняты в качестве опорных, исключались из рассмотрения, как резервные. Далее, с использованием связи между среднемесячными расходами воды и величинами минерализации, удалось привести разнородные ряды наблюдений к упомянутому выше длительному периоду. По удлиненным рядам установлен среднегодовое минерализация воды и главных ионов.

Цель работы – получение обобщенных характеристик химического состава речных вод (по минерализации и главным ионам) Нахичевана, расположенных в различных физико-географических зонах. Для этого проведен анализ

исследуемых речных вод с помощью классификаций по О.А. Алекину [4] и В.М. Левченко [5].

По классификации О.А. Алекина [4], минерализация гидрокарбонатных вод исследуемой территории, не превышает 550 мг/л и относится к гидрокарбонатному классу, второму типу, группе кальция.

По классификации В.М. Левченко [5], речные воды Азербайджана относятся к двум классам: гидрокарбонатно-сульфатному и сульфатному. Гипотетический солевой состав гидрокарбонатно-сульфатного класса вод представлен гидрокарбонатами кальция и магния, сульфатами магния и натрия и хлористым натрием.

Для определения растворенных солей нами были использованы величины главных ионов, т.е. катионов и анионов [2]. Способ их определения показан на примере среднемноголетнего химического состава воды р. Джагричай:

катионы, ммоль/л $\left(\frac{1}{Z}x\right)$	анионы, ммоль/л $\left(\frac{1}{Z}x\right)$
Ca <sup>2+</sup> 2,43	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 2,61
Mg <sup>2+</sup> 1,12	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 1,54
Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> 0,72	Cl <sup>-</sup> 0,12
Σ <sub>и</sub> 4,27	Σ <sub>и</sub> 4,27

Суммируя отдельные величины, получаем, что сумма катионов равна сумме анионов. Далее по классификации В.М. Левченко [5] находим состав отдельных солей и их эквивалентную концентрацию в воде р. Джагричай: Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> – 2,40; Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> – 0,20; MgSO<sub>4</sub> – 0,99; NaSO<sub>4</sub> – 0,50; NaCl – 0,18; сумма составляет 4,27 ммоль/л  $\left(\frac{1}{Z}x\right)$ .

Эквивалентное содержание полученных солей переводим в абсолютные значения, мг/л: Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> – 2,40\*81=194,4 мг/л;

$$\text{Mg(HCO}_3)_2 - 0,20 * 113 = 22,6 \text{ мг/л;}$$

$$\text{MgSO}_4 - 0,99 * 61 = 60,6 \text{ мг/л;}$$

$$\text{NaSO}_4 - 0,50 * 47 = 23,5 \text{ мг/л;}$$

$$\text{NaCl} - 0,18 * 61 = 11,0 \text{ мг/л;}$$

$$\text{сумма} - 312,1 \text{ мг/л.}$$

По этому способу определен химический состав воды за многолетний период (1995-2018 гг.). Выявлено, что в воде р. Джагричай преобладают пять различных солей: гидрокарбонат кальция, гидрокарбонат магния, сульфат магния, сульфат натрия и хлористый натрий (рисунок).

Расчеты произведены во всех исследуемых реках. В результате выявлено, что в речных водах республики растворяются в основном следующие соли: гидрокарбонат кальция, гидрокарбонат магния, сульфат натрия, сульфат магния и хлористый натрий. Во всех исследуемых реках растворяются 2 вида солей натрия (сульфат натрия и хлористый натрий), один вид солей кальция (гидрокарбонат кальция) и 2 вида солей магния (гидрокарбонат магния и сульфат магния) (рисунок).

Таким образом, в речных водах Нахичеванской АР растворяются в основном пять различных видов солей.

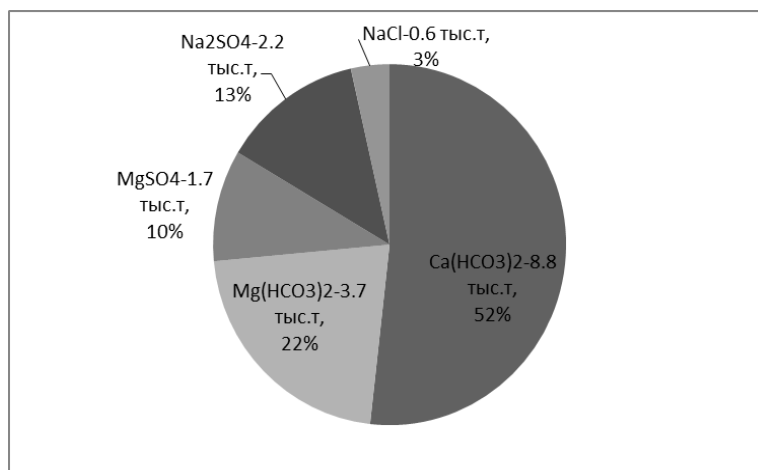


Рисунок – Солевой состав и процентное отношение вод р. Джагричай

В настоящей работе произведена также оценка выноса реками растворенных солей (таблица).

Таблица – Сток растворенных солей, тыс. тон

Река - пункт	Общий солевой сток, тыс. тон	Растворенные соли, тыс. тонн				
		Ca (HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	MgSO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Mg (HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	NaCl
Арпачай-Арени	194	126	36,8	13,7	11	6,5
Нахчыванчай-Карабаба	66	38	12,9	6,8	5,4	3,0
Джагричай-Паиз	17	8,8	3,7	1,7	2,2	0,6
Алинджачай-Арафса	15	8,9	2,6	1,3	1,8	0,4
Гиланчай-Башдиза	61	39,6	11,2	2,18	4,35	3,6
Парагачай-Билав	6	3,1	1,6	0,5	0,6	0,2
Ванандчай-Данагирт	8	4,75	1,8	0,6	0,6	0,23
Ордубадчай-Нуснус	3	1,3	0,9	0,4	0,3	0,1
Насирвазчай-Насирваз	8	4,7	1,8	0,6	0,6	0,3
Дуглунчай-Мазра	2	0,83	0,7	0,22	0,15	0,08
сумма	380	236	74	28	27	15

Таким образом, проведенное нами исследование показывает, что среднемноголетний солевой сток рек Нахичеванской АР составляет 380 тыс. т. Причем этот объем распределен следующим образом: 236 тыс. т Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, 74 тыс.т MgSO<sub>4</sub>, 28 тыс. т Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 27 тыс. т Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, 15 тыс. т NaCl.

### Список литературы

1. Абдуев М.А. Химический состав речных вод Азербайджана // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2010. №8. Том 1. С. 410-413.
2. Абдуев М.А. Классификация речных вод Азербайджана по химическому составу / Материалы Международной конференции «Актуальные проблемы гидрометеорологии и экологии». Тбилиси, 2011. С. 14-16.
3. Абдуев М.А. Исследование химического состава речных вод и их солевого стока (на примере горных рек Азербайджана) // Гидрометеорология и экология. 2015. №2. С. 100-108.
4. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л. Гидрометеоздат, 1970. 444 с.
5. Левченко В.М. О классификации природных вод // Гидрохимические материалы. 1953. Т. 21. С. 16-18.
6. Рустамов С.Г., Кашкай Р.М. Водные ресурсы Азербайджанской ССР. Баку: Элм, 1989. 180 с.

# ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ НИТРАТОВ И ФОСФАТОВ В ВОДЕ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И ЕГО ОСНОВНЫХ ПРИТОКОВ

И.Л. Григорьева<sup>1)</sup>, В.В. Кузовлев<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>*Институт водных проблем РАН, Ивановская НИС, Конаково,  
Irina\_Grigorieva@list.ru*

<sup>2)</sup>*Тверской ЦГМС - филиал ФГБУ "Центральное УГМС", Тверской  
государственный технический университет, Тверь, v\_kuzovlev@mail.ru*

Нитраты и фосфаты относятся к биогенным элементам, наиболее активно участвующим в жизнедеятельности водных организмов. Нитраты образуются в воде в результате биохимического разложения и окисления органических остатков как природного происхождения, так и попадающих в реки и водоемы со сточными водами [4]. Высокие концентрации фосфатов в водных объектах обычно связаны с антропогенными факторами. В частности, с поступлением с хозяйственно-бытовыми стоками и стоками с сельскохозяйственных территорий [1].

Преыдушие исследования показали, что для Ивановского водохранилища характерны относительно высокие концентрации нитратов и фосфатов, что обусловлено антропогенной нагрузкой на водоем и его водосбор [1, 3, 5, 6]. Изменение антропогенной нагрузки приводит к изменению содержания биогенных элементов в воде водных объектов. Поскольку наибольшее сельскохозяйственное использование территории, примыкающей к Ивановскому водохранилищу, приходится на 80-е годы прошлого столетия, то именно в этот период отмечались наибольшие концентрации фосфатов в воде водоема [2]. Для нитратов в многолетнем разрезе отмечается незначительный тренд на увеличение [2]. Наблюдается внутригодовая изменчивость концентраций обоих элементов [1, 3].

Цель наших исследований – изучение пространственно-временной изменчивости содержания нитратов и фосфатов в воде Ивановского водохранилища и его основных притоках в последние годы.

Иваньковское водохранилище – крупный водоем, созданный на р. Волге для целей водоснабжения г. Москвы и выработки электроэнергии на Ивановской ГЭС, первая ступень Волжско-Камского каскада водохранилищ. Используется также для водоотведения, судоходства и рекреации. Основная роль в водном питании водохранилища принадлежит р. Волге (58 % от общего объема притока) и р. Тверце (24 % от общего объема притока). В верхней части водоема расположен крупный областной центр г. Тверь, население которого составляет около 430 тыс. человек. Наиболее крупным водопользователем является Конаковская ГРЭС (построена в 1965 г.), расположенная в средней части водохранилища у г. Конаково.

Для анализа использованы данные мониторинговых наблюдений Тверского ЦГМС – филиала ФГБУ "Центральное УГМС" в 2016–2019 гг. Точки отбора проб воды указаны в таблицах 1 и 2. Отбор проб воды для определения



нитратов производился ежемесячно, а фосфатов – в основные фазы гидрологического режима. Пробы отбирались из поверхностного горизонта, а в створах Иваньковского водохранилища у д. Безбородово и г. Конаково также и у дна.

Определение концентрации нитратного азота производилось фотометрическим методом с реактивом Грисса после восстановления в кадмиевом редукторе по методике РД 52.24.380-2017. Определение концентрации фосфатного фосфора производилось фотометрическим методом с молибдатом аммония по РД 52.24.382-2019. Оба компонента определялись в пробах воды, профильтрованных через мембранный фильтр 0,45 мкм.

Результаты химического анализа отобранных проб воды показали, что наблюдается увеличение концентраций нитратов в пробах, отобранных ниже городов и у дна (таблица 1).

Таблица 1 – Концентрации (средняя за год/максимальная/минимальная) нитратного азота (мг/дм<sup>3</sup>) в воде Иваньковского водохранилища и его основных притоков в 2016–2019 гг.

Точки отбора проб воды	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Иваньковское вдхр. – г. Тверь (выше города)	0,22/0,53/0,04	0,46/1,25/0,051	0,35/0,68/0,014	0,40/1,26/0,018
Иваньковское вдхр. – г. Тверь (ниже города)	0,30/0,66/0,024	0,46/1,25/0,14	0,51/0,94/0,121	0,50/1,59/0,108
Иваньковское вдхр. - д. Безбородово, пов.	0,21/0,70/0,004	0,31/1,65/0,016	0,28/0,8/0,009	0,25/1,12/0,008
Иваньковское вдхр. – д. Безбородово, дно	0,24/0,80/0,006	0,33/1,67/0,016	0,28/0,72/0,008	0,26/1,14/0,009
Иваньковское вдхр. – Конаково, пов.	0,30/0,74/0,014	0,42/1,44/0,083	0,32/0,68/0,025	0,36/1,12/0,011
Иваньковское вдхр. – Конаково, дно	0,30/0,76/0,052	0,42/1,46/0,164	0,36/0,68/0,031	0,36/1,15/0,026
р. Тверца–выше г. Торжок	0,14/0,21/0,059	0,32/0,52/0,168	0,36/0,73/0,167	0,37/0,84/0,036
р. Тверца–ниже г. Торжок	0,16/0,20/0,048	0,32/0,50/0,197	0,37/0,71/0,175	0,44/0,85/0,049
р. Тверца–г. Тверь	0,22/0,53/0,004	0,36/0,73/0,140	0,36/0,66/0,082	0,44/1,22/0,098

В 2016 г. максимальные концентрации нитратов в воде Иваньковского водохранилища были зафиксированы в апреле, а в притоках – в зимний период. В 2017 и 2019 гг. все максимальные концентрации отмечены в апреле. В 2018 г. максимальные концентрации в воде притоков наблюдались в апреле, а в

Иваньковском водохранилище – в январе-феврале. Отмечаемые в зимний период наибольшие концентрации нитратов объясняются тем, что зимой в водохранилище поступает значительное количество обогащенных нитратами подземных вод, а потребление экосистемой минимально [3].

Минимальные концентрации нитратов фиксировались обычно в период с июня по начало сентября, в период «цветения» воды. В 2017 и 2019 гг. максимальные концентрации нитратов были примерно в полтора-два раза выше, чем в 2016 и 2018 гг., что свидетельствуют о межгодовой динамике концентраций этого показателя, возможно, обусловленной разной водностью. В 2016 и 2018 гг. приток воды в водохранилище был ниже, в 2017 г. – выше среднеемноголетнего значения, а в 2019 г. – был близок к среднеемноголетнему значению.

Максимальные концентрации фосфатов, также как и нитратов, отмечены ниже городов и в придонных горизонтах (таблица 2).

Таблица 2 – Концентрации (средняя за год/максимальная/минимальная) минерального фосфора (мг/дм<sup>3</sup>) в воде Иваньковского водохранилища и его основных притоков в 2016–2019 гг.

Точки отбора проб воды	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Иваньковское вдхр. – г. Тверь (выше города)	0,052/0,050/0,014	0,012/0,017/0,006	0,010/0,018/0,005	0,012/0,024/0,002
Иваньковское вдхр. – г. Тверь (ниже города)	0,049/0,074/0,024	0,025/0,033/0,008	0,039/0,045/0,028	0,047/0,056/0,027
Иваньковское вдхр. – д. Безбородово, пов.	0,012/0,019/0,005	0,013/0,025/0,004	0,023/0,045/0,003	0,013/0,020/0,005
Иваньковское вдхр. – д. Безбородово, дно	0,017/0,028/0,013	0,016/0,026/0,006	0,020/0,043/0,002	0,022/0,052/0,011
Иваньковское вдхр. – Конаково, пов.	0,038/0,052/0,027	0,024/0,034/0,014	0,012/0,032/0,003	0,030/0,059/0,005
Иваньковское вдхр. – Конаково, дно	0,055/0,075/0,027	0,020/0,033/0,013	0,032/0,076/0,005	0,045/0,071/0,037
р. Тверца–выше г. Торжок	0,018/0,038/0,009	0,015/0,047/0,006	0,008/0,013/0,006	0,012/0,031/0,011
р. Тверца–ниже г. Торжок	0,043/0,073/0,018	0,020/0,054/0,009	0,024/0,041/0,011	0,021/0,034/0,010
р. Тверца–Тверь	0,032/0,050/0,014	0,018/0,039/0,009	0,021/0,038/0,008	0,020/0,032/0,011

Минимальные концентрации минерального фосфора во всех створах, как правило, отмечаются в апреле-мае, а не летом, как и у нитратов. Минимальные и максимальные концентрации минерального фосфора во всех створах

наблюдений отличаются по годам, что может быть связано с водностью года.

Максимальные концентрации минерального фосфора могут наблюдаться в различные месяцы года, и четкой закономерности не выявлено. В придонных горизонтах в летний период отмечались более высокие концентрации фосфатов, чем в поверхностных горизонтах. Это связано, очевидно, с тем, что в поверхностных горизонтах идет более интенсивное потребление фосфатов фитопланктоном. Эта закономерность характерна и для нитратов. Были получены следующие выводы.

1) В створах ниже г. Торжок и г. Тверь отмечаются более высокие концентрации нитратного азота и минерального фосфора, чем в створах выше них. Это является, скорее всего, следствием поступления этих компонентов с хозяйственно-бытовыми стоками городов.

2) Более высокие концентрации нитратов и фосфатов в придонных горизонтах в летний период обусловлены, очевидно, более интенсивным развитием фитопланктона у поверхности, чем у дна.

3) Отмечены пики высоких концентраций нитратов в январе-феврале и апреле. В зимний период высокие концентрации вызваны поступлением из подземных вод. В апреле в период половодья происходит смыв нитратов с водосбора.

4) В последние годы, как и в предыдущие [1, 3, 5, 6] отмечается довольно значительная межсезонная и незначительная межгодовая динамика концентраций нитратов и фосфатов.

*Работа выполнена в рамках темы № 0147-2019-0002 (№ государственной регистрации АААА-А18-118022090104-8) Государственного задания ИВП РАН.*

#### Список литературы

1. Григорьева И.Л. Пространственно-временная изменчивость содержания биогенных элементов в воде водохранилищ Верхней Волги / Материалы V Всероссийского симпозиума с межд. участ., 10-14 сентября 2012, г. Петрозаводск. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2012. С. 137-140.

2. Григорьева И.Л., Комиссаров А.Б., Чекмарева Е.А. Трансформация качества воды Иваньковского водохранилища и его малых притоков за многолетний период под воздействием природных и антропогенных факторов // Вопросы географии. 2018. №145. С. 337-346.

3. Дебольский В.К., Кочарян А.Г., Григорьева И.Л., Лебедева И.П., Толкачев Г.Ю. Проблемы формирования качества воды в поверхностных источниках водоснабжения и пути их решения на примере Иваньковского водохранилища // Вода: химия и экология. 2009. №7(13). С. 2-11.

4. Зенин А.А., Белоусова Н.В. Гидрохимический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 239 с.

5. Иваньковское водохранилище и его жизнь. Л.: Наука, 1978. 304 с.

6. Экологические проблемы Верхней Волги. Ярославль: ЯГТУ, 2000. 427 с.

# ИЗМЕНЕНИЯ ИОННО-СОЛЕВОГО СОСТАВА ВОДЫ Р. СЕВЕРНАЯ ДВИНА В ПЕРИОД СОВРЕМЕННОГО ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА

А.О. Даниленко<sup>1)</sup>, А.Г. Георгиади<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>*Гидрохимический институт, Ростов-на-Дону,  
a.danilenko@gidrohim.com*

<sup>2)</sup>*Институт географии РАН, Москва, georgiadi@igras.ru*

В 1970-1980-е годы XX века отмечено начало современного потепления климата [2], что проявилось в увеличении, в первую очередь, зимнего стока воды в бассейнах арктических рек. Поскольку в период зимней межени в питании реки возрастает роль сравнительно более минерализованных подземных вод, вслед за изменением водного режима трансформируется и зависящий от него ионный сток.

Воды арктических рек относятся в основном к ультрапресным, с низким содержанием главных ионов, поэтому влияние климатических факторов на ионный режим лучше прослеживается на реках относительно большими значениями модулей химического стока. Например, по данным Ю.А. Даценко и соавторов [4] модуль ионного стока Северной Двины составляет около 40 т/км<sup>2</sup> в год, что связано как с её значительной водоносностью и отсутствием в бассейне вечной мерзлоты, так и с тем, что сам бассейн в значительной мере сложен легко выщелачиваемыми породами (известняки и гипсы). Это на 25 % больше, чем у р. Печора, в бассейне которой уже встречаются многолетне мерзлотные породы, и в 4 раза больше, чем, например, у рр. Пур и Яна, чьи бассейны целиком расположены в зоне вечной мерзлоты.

В ходе исследований в рамках проекта РФФИ № 18-05-60240 было обнаружено, что ионный сток р. Северная Двина в период современного потепления климата увеличился, хотя и не так заметно, как водный (на 6-8 %). На основании анализа динамики стока различных главных ионов возникло предположение, что в период современного потепления климата в бассейне р. Северная Двина могла усиливаться химическая денудация известняков и гипсовых пород, так как наибольший вклад в суммарную изменчивость ионного стока внесла динамика зимнего стока кальция. В связи с этим, целью работы стала оценка изменений, произошедших в ионно-солевом составе воды р. Северная Двина в периоды относительно холодного и относительно теплого климата (ПХК и ПТК соответственно), а также анализ источников поступления главных ионов в эти климатические периоды.

Материалом исследования послужили гидрохимические данные Государственной наблюдательной сети Росгидромета за период с 1947 по 2017 г. в створе у с. Усть-Пинега. Створ расположен на входе в устьевую область в 137 км от морского края дельты ниже впадения р. Пинега и замыкает 97,5 % площади водосбора реки (348 000 км<sup>2</sup>) [7]. По классификации О.А. Алекина речная вода здесь относится к гидрокарбонатному классу, группе кальция, II тип. Генетически воды этого типа связаны с различными осадочными породами и продуктами выветривания коренных пород [1].

Границы начала современного потепления климата установлены по смене многолетних фаз пониженных и повышенных значений среднегодовой и среднезимней температуры воздуха в пределах исследуемой территории (рисунок). Анализ разностно-интегральных кривых [3] показывает, что начало интенсивного потепления в бассейне Северной Двины относится к 1988 году. Разница осреднённых для бассейна Северной Двины средних многолетних значений климатических характеристик относительно более холодного периода, продолжавшегося с 1930–1940-х годов до конца 1980-х годов и последовавшего за ним более тёплого периода довольно заметна. Так, соответствующие значения среднегодовой температуры воздуха равны 0,8 и 1,9<sup>0</sup>С, а годовой суммы атмосферных осадков – 581 и 628 мм.

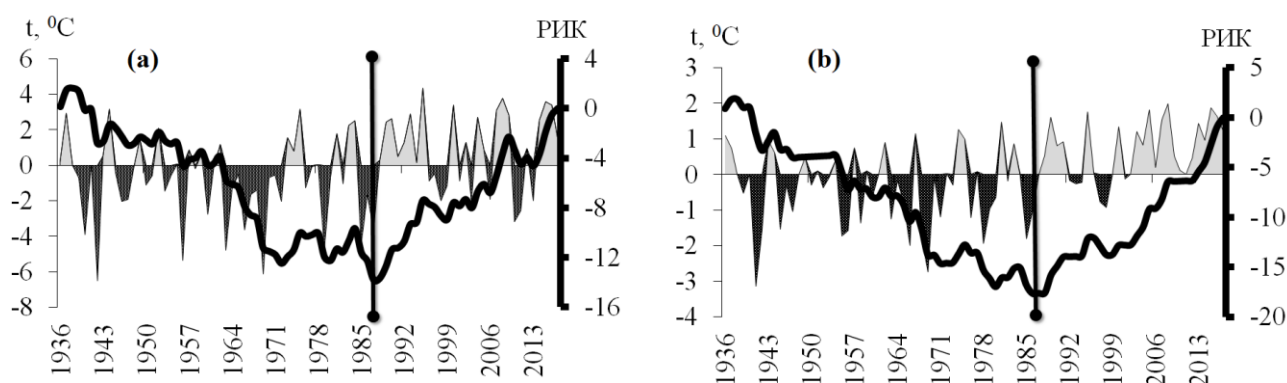


Рисунок – Многолетние изменения среднегодовой (а) и средней зимней (б) температуры воздуха, осреднённой по бассейну р. Северной Двины, выраженные в координатах интегрально-разностных кривых

Анализ ионно-солевого состава воды Северной Двины в периоды относительно теплого и относительно холодного климата основан на выделении источников поступления ионов, изложенного в монографии С.А. Дурова [5]. В связи с тем, что эта классическая монография по гидрохимии недоступна в открытых источниках, методология и принципы анализа изложены здесь достаточно подробно.

Гидрокарбонаты кальция и магния образуются под действием углекислоты на известняки, более или менее доломитизированные. Для ультрапресных северных вод обычным отношением магния к кальцию является 0,10-0,25 (10-20% катионов магния и 80-90 % катионов кальция).

Другая составная часть речной воды – так называемые «реликтовые морские воды». Это остаточные морские воды, связанные с морскими осадочными породами прежних геологических эпох. Принято считать, что их состав отвечает составу современной океанской воды, то есть в них преобладают хлориды. Если принять хлориды за единицу, тогда доля остальных ионов распределяется следующим образом: сульфаты 0,103; гидрокарбонаты 0,003; натрий 0,873; магний 0,195; кальций 0,038.

Природное происхождение сульфатов может быть двояким: за счёт растворения сульфатных пород (преимущественно, гипса) или при окислении сульфидов в составе, например, пирита. При растворении гипса сульфаты натрия и магния образуются вследствие катионного обмена между растворенным гипсом и горными породами, имеющими натрий и магний в качестве поглощающих оснований.

Если из общего ионно-солевого состава воды отнять ионы, входящие в состав реликтовой морской воды и гидрокарбонаты кальция и магния, химически выветрившиеся из известняков, в остатке получаются сульфаты континентального происхождения. Это в свою очередь, позволит судить о том, усиление денудации каких пород в бассейне р. Северная Двина привело к увеличению ионного стока в период относительно теплого климата.

С этой целью построены таблицы ионно-солевого состава воды (таблицы 1 и 2). При построении таких таблиц в первой графе перечисляют главные ионы. Во второй графе представляют проценты эквивалентов ионов (катионов и анионов в сумме должно быть по 100 %). В третьей графе по имеющемуся содержанию иона хлора рассчитывают ионный состав реликтовой морской воды. В четвертой графе приводят расчёт содержания ионов магния и кальция, входящих в состав гидрокарбонатов континентального происхождения с учетом отношения магния к кальцию как 1:5, типичного для вод гидрокарбонатного класса. В шестой графе вычислено содержание сульфата и относящихся к нему катионов путём вычитания из ионов «речной воды» суммы ионов «морской воды» и «континентальных гидрокарбонатов» (таким способом вычлняются кальций и магний, поступающие вместе с сульфатными ионами). В седьмой графе, приняв за 100 % сумму оставшихся катионов, вычисляют процентный состав сульфатов континентального происхождения. Все полученные проценты относятся к эквивалентным количествам.

Так, например, из таблиц 1 и 2 следует, что в период относительно холодного климата в сульфатной составляющей воды р. Северная Двина доля гипса составляла 41,70 %, но в период относительно теплого климата его доля, вопреки ожиданиям, снизилась до 34,30 %.

В таблицах приведены усредненные значения ионного состава для выделенных климатических периодов, однако в работе анализировались такие таблицы, рассчитанные для каждой отобранной пробы. Совокупности данных разделялись на сезоны, более однородные с точки зрения источников питания реки, и сравнивались с использованием параметрического t-теста для независимых выборок ввиду симметричности распределения данных внутри полученных групп. На основании результатов теста делали вывод о статистически значимых изменениях, произошедших в структуре ионно-солевого состава в современный период потепления климата. Статистические оценки получали с использованием программ Statistica и MS Excel. В качестве границ гидрологических сезонов использовали месяцы: с декабря по апрель - зимняя межень, с мая по июль - половодье и с августа по ноябрь летне-осенний - меженный период с периодическими дождевыми паводками.

Таблица 1 – Ионно-солевой состав воды р. Северная Двина у с. Усть-Пинега в период относительно холодного климата (1947-1988 гг.)

№	Ионы	Речная вода <sup>1</sup>	Соли морской воды	Бикарбонаты	Сульфаты	
					А <sup>2</sup>	Б, %
1	Магний	24,9	1,35	9,6	13,94	40,20
2	Кальций	62,8	0,26	48,1	14,45	41,70
3	Сумма натрия и калия	12,3	6,02	–	6,28	18,10
4	Гидрокарбонаты	57,7	0,02	57,7		–
5	Сульфаты	35,4	0,71	–	34,67	100
6	Хлориды	6,9	6,90	–		–

*Примечание к таблицам 1-2:*  
<sup>1</sup>- сохранено авторское наименование столбцов таблиц по С.А. Дурову;  
<sup>2</sup>-А – за 100 % принята сумма эквивалентов солей; Б – за 100 % принято содержание сульфатов континентального происхождения.

Таблица 2 – Ионно-солевой состав воды р. Северная Двина у с. Усть-Пинега в период относительно теплого климата (1989-2017 гг.)

№	Ионы	Речная вода <sup>1</sup>	Соли морской воды	Бикарбонаты	Сульфаты	
					А <sup>2</sup>	Б, %
1	Магний	24,2	1,20	10,4	12,55	40,95
2	Кальций	62,9	0,23	52,1	10,51	34,30
3	Сумма натрия и калия	13,0	5,37	–	7,59	24,75
4	Гидрокарбонаты	62,5	0,02	62,5		–
5	Сульфаты	31,3	0,63	–	30,65	100
6	Хлориды	6,2	6,15	–		–

Анализ таблиц ионно-солевого состава р. Северная Двина показал, что в период современного потепления климата доля гипса в общем количестве сульфатов континентального происхождения снизилась. Это свидетельствует в пользу того, что за увеличение зимнего стока кальция ответственно, в первую очередь, химическое выветривание не сульфатных, а карбонатных пород. Это же заключение подтверждается некоторым увеличением в ионно-солевом составе доли карбонатов континентального происхождения, а также связанных с ними катионов кальция и магния.

Примечательно, что в период современного потепления климата в общем пуле сульфатов континентального происхождения возросла доля сульфатов натрия и калия, которые обычно рассматриваются как ионы, чувствительные к антропогенному воздействию. В низовьях Северной Двины минералы, содержащие значительное количество сульфата натрия (глаубериты, мирабилиты) не распространены, но встречаются источники подземных минеральных вод разнообразного химического состава, включая

сульфатно–хлоридно–натриевые, например. С другой стороны, источником дополнительного поступления натрия и калия, как и сульфатов, может быть хозяйственная деятельность на водосборе или атмосферные осадки, которые на севере европейской части России обеспечивают до 70 % поступления натрия и калия в реки [6]. В первом приближении судить о генезисе сульфата натрия можно по тому гидрологическому сезону, в котором наблюдаемые изменения наиболее заметны. В период зимней межени в питании реки велика роль подземных вод, в то время как в весеннее половодье большое значение получают воды поверхностного питания.

Таблица 3 – Различия в процентном составе катионов, относящихся к сульфатам континентального происхождения, в р. Северная Двина в различные гидрологические сезоны контрастных климатических периодов

Гидрологический сезон	Климатический период	Среднее значение и стандартное отклонение в группе, %-экв ( $\bar{X} \pm \sigma$ )		
		Магний	Кальций	Натрий и калий (сумма)
Зимняя межень	ПХК	40,55±9,57	<b>40,88±13,92</b>	18,57±13,0
	ПТК	44,26±8,98	<b>34,12±8,71</b>	21,62±9,86
	$p^1$	0,202	<b>0,042</b>	0,371
Весеннее половодье	ПХК	35,36±17,74	<b>46,42±23,33</b>	<b>23,08±16,42</b>
	ПТК	36,62±14,93	<b>32,90±14,78</b>	<b>30,48±13,25</b>
	$p$	0,773	<b>0,007</b>	<b>0,063</b>
Летне-осенний период	ПХК	45,22±14,17	34,68±12,83	20,09±15,16
	ПТК	42,33±11,51	34,11±11,72	23,56±11,21
	$p$	0,325	0,840	0,238
<i>Примечание:</i>				
<sup>1</sup> – уровень доверительной вероятности (в связи с невысоким качеством расчетных данных по сумме одновалентных катионов в данной работе принято, что статистически различия значимы при $p < 0,100$ )				

Результаты статистического анализа (таблица 3) свидетельствуют, что сопряженные, но противоположно направленные изменения в составе сульфатов континентального происхождения в период современного потепления наблюдаются в половодье: доля гипсов (сульфата кальция) снижается, а доля «мирабилитов» (сульфата натрия), напротив, возрастает. В связи с этим причину наблюдаемых изменений с большей вероятностью следует искать не в подземном питании, а в изменениях в составе атмосферных осадков, в том числе под влиянием антропогенных факторов. На севере европейской части России специфичными источниками загрязнения являются предприятия целлюлозно-бумажной промышленности, которые при получении целлюлозы из древесины на производстве применяют либо сульфатный



процесс (обработка раствором гидроксида и сульфида натрия), либо натронный способ, где используется только гидроксид натрия. В обоих случаях мелкодисперсные соли натрия, содержащиеся в пылегазовых выбросах, могут оседать и накапливаться в твердых осадках, а затем поступать в реки бассейна Северной Двины при таянии снежного покрова.

Таким образом, в период современного потепления климата наблюдается увеличение зимнего ионного стока на 8,1 % (полные данные по ионному стоку в этом сообщении не представлены). В наибольшей степени изменения были отмечены для стока кальция, в связи с чем изначально было выдвинуто предположение, что это связано с двойственностью источников его поступления в бассейне р. Северная Двина – с химическим выветриванием не только известняков, но и широко распространенных здесь гипсовых пород. Для проверки этой гипотезы проведена оценка изменений ионно-солевого состава воды р. Северная Двина в выделенных климатических периодах. Показано, что за увеличение зимнего стока кальция ответственно, в первую очередь, химическое выветривание карбонатных пород, так как в период современного потепления доля гипсов в сульфатах континентального происхождения снижается, а доля карбонатов континентального происхождения, а также связанных с ними катионов кальция и магния, наоборот, возрастает. Также показано, что в общем пуле сульфатов континентального происхождения возросла доля сульфатов натрия и калия (антропогенно-чувствительные ионы), что может быть вызвано косвенным влиянием специфической хозяйственной деятельности на водосборе.

*Исследования проведены в рамках проекта РФФИ № 18-05-60240.*

#### Список литературы

1. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Ленинград: Гидрометеиздат, 1953. 296 с.
2. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Техническое резюме. 2014. 94 с.
3. Георгиади А.Г. Долговременные периоды пониженной/повышенной водности Северной Двины и Дона в XIX-XXI веках // Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы. Воронеж: Цифровая полиграфия, 2019. Том 1. С. 391-394.
4. Даценко Ю.С., Ефимова Л.Е., Заславская М.Б., Пахомова О.М. Ионный сток в арктические моря России // Российские полярные исследования. 2016. № 1 (23). С. 12-15.
5. Дуров С.А. Геометрический метод в гидрохимии. Ростов-на-Дону: «Ростовское книжное издательство», 1959. 196 с.
6. Зверев В.П. О составляющих ионного стока с территории СССР // Гидрохимические материалы. 1971. Т. 56. С. 11-18.
7. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 3. Северный край / под ред. И.М. Жила и Н.М. Алюшинской. Ленинград: Гидрометеиздат, 1972. 663 с.

## МЕТОД ОЦЕНКИ СТАЦИОНАРНОГО СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ПРИМЕРЕ РЕК ПОЛУОСТРОВА КАМЧАТКА

А.О. Даниленко<sup>1)</sup>, А.А. Коваленко<sup>1), 2)</sup>, Л.С. Косменко<sup>1)</sup>,  
М.Ю. Кондакова<sup>1)</sup>, О.С. Решетняк<sup>1), 2)</sup>

<sup>1)</sup>*Гидрохимический институт, Ростов-на-Дону, info@gidrohim.com*

<sup>2)</sup>*Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, olgare1@mail.ru*

Реки – это открытые системы, и их параметры, включая концентрации растворённых химических веществ, подвержены постоянным колебаниям, которые происходят в некоторых свойственных водному объекту пределах и с определённой частотой. Признаком стабильности функционирования экосистемы реки является относительное постоянство амплитуд и частоты таких колебаний во времени.

Если рассматривать концентрацию вещества как один из параметров системы, то положение равновесия, относительно которого происходят колебания, – это концентрация, сформировавшаяся в результате взаимодействия множества устойчивых во времени факторов. К этой концентрации стремится вернуться система, выведенная из равновесия внешними и внутренними воздействиями. В отличие от естественных факторов формирования химического состава поверхностных вод (климат, горные породы и минералы, рельеф и т.д.), антропогенная нагрузка обладает значительно большей изменчивостью во времени и является причиной отклонения от положения равновесия. При таком подходе выявление природной концентрации вещества в речной экосистеме равносильно поиску стационарного состояния системы по этому параметру, что позволяет применять некоторые наглядные инструменты нелинейной динамики при установлении величин природных концентраций веществ в водных объектах. Так, например, стационарные состояния системы удобно визуализировать и анализировать при помощи фазового портрета – n-мерного пространства состояний.

Значимость исследований по определению стационарных состояний водных объектов и оценке природных концентраций растворённых химических веществ тесно связана с вопросами оценки качества водных ресурсов, которое в настоящее время имеет преимущественно «антропоцентрический» характер, игнорирующий естественные особенности сложившихся экосистем.

Целью данной работы стало определение стационарных состояний водных объектов по отдельным химическим веществам на примере рек Камчатки. Для этого были построены и проанализированы фазовые портреты, что позволило выявить и количественно охарактеризовать природные концентрации и тренды главных ионов.

Камчатский полуостров находится в зоне избыточного увлажнения и располагает хорошо развитой речной сетью. Основным источником питания поверхностных водотоков является снег, а преобладающей формой перемещения воды в бассейнах – подземный сток, который постепенно переводит талый сток в речной [5].

В качестве объектов исследования выбраны участки рек, относящиеся к разным категориям [1]: малая река Паратунка, пункт у урочища Микижа (площадь водосбора 1500 км<sup>2</sup>), средняя река Авача, пункт у г. Елизово (площадь водосбора 5090 км<sup>2</sup>), и большая река Камчатка, пункт у г. Ключи (площадь водосбора 55900 км<sup>2</sup>). Для построения фазовых портретов речных экосистем по динамике концентраций главных ионов использованы гидрохимические данные Государственной наблюдательной сети Росгидромета за период с 1990 по 2018 гг. Наблюдения на рр. Авача у г. Елизово и Камчатка у г. Ключи с 1990 года осуществляются в среднем 12 раз в год, на р. Паратунка (урочище Микижа) – в среднем 7 раз в год.

Применение фазового портрета для оценки природной концентрации заключается в исследовании траектории изображающей точки в координатах  $C$  и  $dC/dt$ , где  $C$  – массовая концентрация вещества,  $dC/dt$  – скорость её изменения. Из-за различной внутригодовой частоты отбора проб в наблюдательных пунктах разной категории за единицу времени изменения концентрации был принят год, а в качестве результирующей концентрации – годовая медиана, сглаживающая случайные флуктуации концентраций исследуемых веществ. Эмпирический фазовый портрет, построенный таким образом, является многоцикловой траекторией эллиптической формы [2]. Исходя из того, что стационарное состояние – это состояние с нулевой скоростью изменения параметра [6], природная концентрация представляет собой точку, вокруг которой происходит дрейф годовых медиан. Она должна быть расположена на оси абсцисс так, чтобы остальные изображающие точки фазового портрета лежали на наименьшем от неё расстоянии, и этому условию соответствует точка пересечения линейной регрессии с осью концентраций. Более подробно методология построения фазового портрета описана в [2]. Фазовые портреты, построенные таким образом, обсуждаются в данной работе.

Дополнительно для обнаружения в гидрохимических данных многолетнего тренда был применен корреляционный анализ (Коэффициент ранговой корреляции  $\tau$  Кендалла).

Анализ фазового портрета представляет собой задачу, не имеющую на данный момент времени однозначного алгоритма решения. Многообразие получаемых траекторий движений фазовых точек приводит к необходимости разработать хотя бы «грубую» классификацию их форм с тем, чтобы в дальнейшем к каждому типу фазового портрета сформулировать некоторую последовательность действий в их анализе, снижающих долю экспертных решений.

Так, предшествовавшие этой работе исследования более 400 участков рек Европейской территории России [4] и Западной Сибири [3] позволили выделить четыре основных типа эмпирических фазовых портретов: «норма», «асимметрия», «критическая точка» и «тренд». Все эти типы можно найти на рисунке.

«Норма» – наиболее простой вариант фазового портрета для оценки стационарного состояния и последующего расчета природной концентрации вещества. Из представленных на рисунке к таким типам фазового портрета можно отнести, например, колебания годовых медиан кальция и

магния в р. Паратунка.

р. Авача у г. Елизово

р. Камчатка у г. Ключи

р. Паратунка, урочище  
Микижа

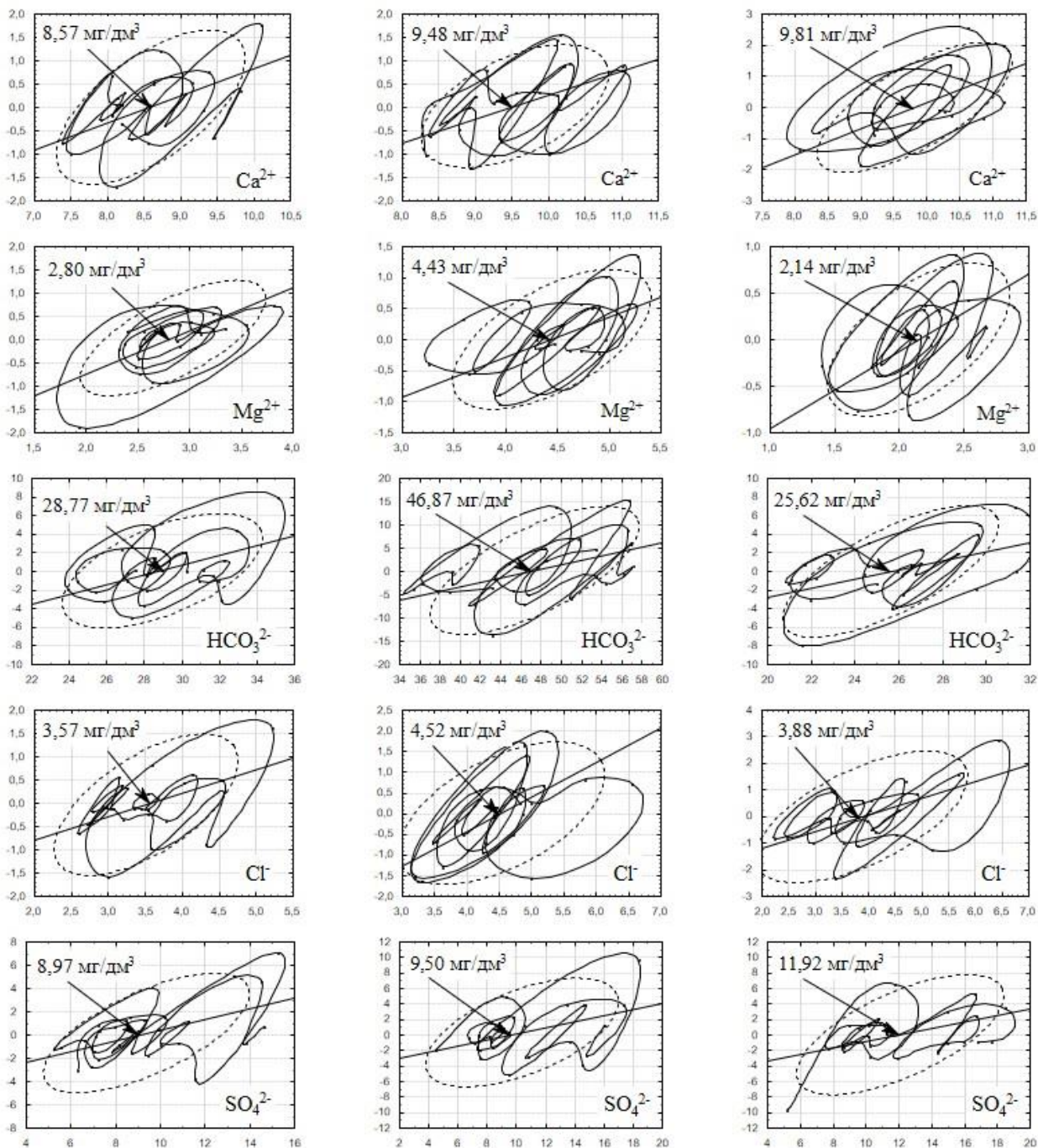


Рисунок – Фазовые портреты и вычисленные с их помощью значения природных концентраций главных ионов в реках полуострова Камчатка

Он формируется при симметричном или близком к нему распределении как годовых медианных концентраций, так и скоростей их изменения. Автоматически это подразумевает также отсутствие в ряду медиан тренда и сильно отклоняющихся данных. Такой вид траектории изображающей точки характеризует стационарность состояния водного объекта и постоянство пределов и частоты колебаний концентраций растворенных в его воде веществ.

«Асимметрия» – в определенном смысле показывает фактически достигнутые за выбранный интервал времени пределы «выносливости» системы по исследуемому параметру (они не всегда соответствуют пределам, после достижения которых система переходит в новое стационарное состояние). Из представленных на рисунке к таким типам фазового портрета можно отнести, например, колебания годовых медиан магния в рр. Авача и Камчатка, хлориды в р. Камчатка. Визуально такой портрет имеет петлю, далеко выходящую за пределы доверительного эллипса (на рисунке изображен штрихпунктирной линией, фактически ограничивает область фазового портрета, в которой с 95 % вероятностью окажется изображающая точка). Такая петля при построении линии регрессии для расчета природной концентрации будет влиять на положение точки пересечения этой линии с абсциссой, смещая её в свою сторону. Поэтому при расчетах природной концентрации вещества её целесообразно исключить (концентрации, приведённые на рисунке, вычислены без учёта петли). Асимметрия появляется при скосе распределения медианных концентраций, при этом распределение их скоростей может оставаться симметричным. На графиках многолетней динамики в описываемом случае может появиться статистически значимый линейный тренд, но в фазовой плоскости этот тренд нивелируется.

«Критическая точка» – появляется при нестационарных процессах и хорошо заметна при ступенчатом тренде. Из представленных на рисунке к таким типам фазового портрета можно отнести, например, колебания годовых медиан сульфатов в рр. Паратунка, Авача и Камчатка. В отличие от «асимметрии», «критическая точка» дает наглядное представление о пределе, переход через который сопровождается установлением нового стационарного состояния с иными параметрами. Это изменение будет заметно и на простом графике многолетней динамики концентраций в виде ступенчатого тренда. При использовании таких многолетних данных для выявления природных концентраций веществ частотные диаграммы и простые точечные оценки (среднее арифметическое, медианы) будут малоинформативны. А при использовании с этой целью портрета типа «критическая точка» траекторию, соответствующую более высоким концентрациям, разумно исключить из анализа.

«Тренд» – также появляется при нестационарных процессах, однако динамика концентраций, которая приводит к появлению такой формы фазового портрета, носит монотонный характер. Из представленных на рисунке к таким типам фазового портрета можно отнести, например, колебания годовых медиан хлоридов в р. Паратунка, хотя следует отметить, что статистически их тренд незначим. В данном случае приведенный пример является лишь иллюстрацией формы портрета. Фактически он представляет собой несколько циклов, сдвинутых вдоль оси абсцисс относительно друг друга на некоторое расстояние. Как правило, визуально такой портрет напоминает раскручивающуюся спираль, которая появляется при увеличении амплитуд скоростей изменения концентраций. Поскольку переход к стационарному состоянию характеризуется стремлением скорости изменения параметра к нулю, раскручивающаяся спираль, напротив, свидетельствует о «разбалансировке» системы и интенсификации процессов её перестройки [2].

Это самый трудный тип фазового портрета с точки зрения его применения для расчета природной концентрации химического вещества. Фактически при работе с ними можно предложить только разложение фазового портрета на отдельные квазициклы (витки раскручивающейся спирали) и расчёт искомой концентрации по геометрическому центру квазицикла, максимально смещённого по оси абсцисс в сторону меньших значений концентраций.

Анализ построенных фазовых портретов позволил установить, что природные концентрации главных ионов в реках Камчатки (рр. Камчатка, Авача, Паратунка) численно близки друг другу и составляют: 8,57-9,81 мг/дм<sup>3</sup> кальция, 2,14-4,43 мг/дм<sup>3</sup> магния, 3,57-4,52 мг/дм<sup>3</sup> хлоридов, 8,97-11,92 мг/дм<sup>3</sup> сульфатов. По содержанию гидрокарбонатов р. Камчатка превосходит рр. Авачу и Паратунку – 46,87 и 25,62-28,77 мг/дм<sup>3</sup> соответственно. Также показано (и подтверждено статистически корреляционным анализом), что для исследуемых участков рек характерно незначительное число многолетних трендов концентраций растворенных веществ. Среди главных ионов увеличение содержания в воде характерно только для сульфат-ионов. Так с 1990 года прирост содержания сульфатов для р. Авача у г. Елизово составил 2,26 мг/дм<sup>3</sup> в десятилетие, в р. Паратунка (урочище Микижа) – 2,60 мг/дм<sup>3</sup> в десятилетие, в р. Камчатка - 3,14 мг/дм<sup>3</sup> в десятилетие.

#### Список литературы

1. ГОСТ 17.1.1.02-77 Охрана природы. Гидросфера. 13 с.
2. Даниленко А.О., Трофимчук М.М., Кондакова М.Ю., Косменко Л.С., Решетняк О.С. Фазовые портреты эмпирических и модельных распределений концентраций химических веществ в оценке качества водных ресурсов // В материалах всероссийской научно-практической конференции «Водные ресурсы России: современное состояние и управление». Том II. Сочи, 8-14 октября 2018 г. С. 183-187.
3. Научные исследования по расчету природных фоновых концентраций химических веществ в речных водах с учетом природных особенностей Западной Сибири с целью разработки проекта методики расчета природных фоновых концентраций химических веществ для рек // Отчет по I этапу НИР по гражданско-правового договора № 71-НИР/ФЦП-2017 от 29.05.2017. ФГБУ «ГХИ», рук. Л.И. Минина. Ростов-на-Дону, 2017. 314 с.
4. Разработка научно-обоснованных рекомендаций по расчету фоновых концентраций химических веществ в речных водах России с учетом специфики природно-территориальных комплексов, а также антропогенного воздействия // Отчет по II этапу НИР по гражданско-правового договора № 63-НИР/ФЦП-2016 от 18.04.2016. ФГБУ «ГХИ», рук. Л.И. Минина. Ростов-на-Дону, 2016. 179 с.
5. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Камчатка. Пояснительная записка к Книге 1. Екатеринбург, 2011. 86 с.
6. Терещенко В. Г., Вербицкий В. Б. Метод фазовых портретов для анализа динамики структуры сообществ гидробионтов // Биология внутренних вод, 1997. № 1. С. 23-31.

# СОВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВОДНО-БИОГЕННОГО БАЛАНСА РЕЧНЫХ ВОДОСБОРОВ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ В БАССЕЙНЕ ВОЛГИ

С.В. Долгов, Н.И. Коронкевич, Е.А. Барабанова  
*Институт географии РАН, Москва, svdolgov1978@yandex.ru*

Несмотря на наметившуюся в последние годы тенденцию уменьшения антропогенной нагрузки, в том числе в отношении сброса сточных вод и в их составе загрязняющих веществ, заметного улучшения качества воды в Волге и ее водохранилищах не происходит. Произошли существенные изменения климатических факторов формирования водного стока. Вклад произошедших трансформаций в качественное состояние водных ресурсов остается в значительной мере неизвестным. В то же время без достаточно детальных знаний о генезисе негативной гидроэкологической ситуации, сложившейся, в том числе вследствие неконтролируемого диффузного (рассредоточенного по территории) выноса биогенных веществ с речных водосборов, весьма проблематичной представляется разработка эффективных водоохраных мер.

Цель исследования заключается в определении водно-биогенного баланса речных водосборов в северной части лесостепной зоны, в том числе в оценке весьма важной в экологическом отношении его составляющей – выноса азота и фосфора в речную сеть, а также в выявлении современных его изменений на примере реки Кудьмы.

Кудьма – правый приток Чебоксарского водохранилища. Длина реки – 157 км, площадь водосбора – 3246 км<sup>2</sup>. На водосборной территории наиболее распространены серые лесные почвы. Лесная растительность (смешанные и широколиственные леса) занимает 42,6 %, сельскохозяйственные угодья – 56,2 % (в том числе заливные луга – 7,1 %). На долю болот и других водных объектов приходится 1 %, населенных пунктов – 0,22 %.

За период исчисления нормы (1944–1975 гг.) годовой речной сток составлял в среднем 114 мм, его поверхностная составляющая – 68 мм (60 % полного стока), подземный сток – 46 мм (40 %). За 2008–2018 гг. сток Кудьмы увеличился до 135 мм (на 18 % по отношению к норме) главным образом за счет роста подземной составляющей (на 60 %), достигшей 73 мм. При этом поверхностная составляющая несколько снизилась (на 9 %) и составила 62 мм. Доля подземной составляющей в годовом речном стоке увеличилась в последние годы в среднем до 54 %, т.е. стала на 14 % больше.

Методологической основой выполненного исследования является ландшафтно-гидрологический метод, дополненный представлением о гидрологической ярусности речного бассейна [2]. В качестве инструмента изучения элементов его вертикальной стратификации (растительности, поверхностного слоя почвы, зон аэрации и насыщения) используется водно-биогенный баланс, тесно связанный с водным балансом [2, 4]. Основы методики расчетов приведены в работе [3]. В связи с тем, что до 1975 г. наблюдения за концентрацией аммонийного азота и фосфатов не проводились,

для оценки изменений выноса биогенных веществ их содержание принято одинаковым для всего периода инструментальных наблюдений и соответствующим содержанию в анализируемый период (2008–2018 гг.).

В качестве исходной информации использовались многолетние ряды наблюдений за водным стоком Кудьмы у д. Новой (площадь водосбора 1700 км<sup>2</sup>) и в створе г. Кстово (1750 км<sup>2</sup>). Подземный сток рассчитан путем выделения на гидрографах речного стока различных видов питания. Поверхностная составляющая стока (включающая сток верховодки) определена по разности полного речного и подземного стока. Другой массив исходной информации включает гидрохимические данные Росгидромета по содержанию минерального азота и фосфора в р. Кудьме, результаты экспедиционных работ Института географии (ИГ РАН) и данные по антропогенному поступлению биогенных элементов на водосборную площадь, использованные в работах по проекту «Оздоровление Волги». Оценка составляющих природного поступления биогенных элементов на речной водосбор – опада лесной и травянистой растительности, биофиксации азота выполнена по литературным данным [1, 6, 7, 8].

В таблице приведен годовой баланс азота и фосфора, сложившийся в последние годы (2008–2018) в бассейне Кудьмы. Расчеты показали, что приходная часть баланса (поступление) значительно превышает расходную часть (вынос) – в 6–6,5 раз. Привнесенные в течение года извне биогенные вещества местного происхождения в основном остаются в пределах границ речного водосбора.

Таблица – Годовой водно-биогенный баланс бассейна р. Кудьмы (кг/км<sup>2</sup>)

Биогенные вещества	Поступление		Вынос			
	Природное (сумма учтенных видов)	Антропогенное (сумма учтенных видов)	С урожаем	Со стоком р.Кудьмы у г.Кстово (1750 км <sup>2</sup> )	Со стоком р.Кудьмы в устье (3246 км <sup>2</sup> )	
					с учетом сточных вод	без учета сточных вод
Азот минеральный	2818	968	485	298	170	148
Фосфор минеральный	351	314	93	7,66	10,3	9,8

В последние годы *природное* поступление биогенных веществ на речной водосбор остается весьма существенным. За счет природных факторов поступление азота на водосбор в 3, а фосфора в 1,1 раза больше, чем за счет антропогенных. Из числа всех учтенных природных факторов поступления биогенных веществ на речной водосбор (атмосферные осадки, вымывание дождями из крон деревьев, биофиксация азота на посевной площади, опад на заболоченных землях, лугах, пастбищах и залежах) наиболее важный – опад лесной растительности. Поступление азота с листовым опадом более чем в 10



раз превышает его вынос в Чебоксарское водохранилище с водным стоком р. Кудьмы, а поступление фосфора – в 25 раз.

Весьма заметную роль в балансе азота на водосборе Кудьмы играют осадки (атмосферная составляющая), вовлеченные в вертикальный и горизонтальный влагоперенос. С осадками привносится значительное количество минерального азота и фосфора, превышая их вынос с водным стоком на приустьевом участке в 2 раза. Наиболее значительный поток азота атмосферного происхождения (90 % всего азота в осадках) наблюдается в процессе вертикальной фильтрации в почвогрунты зоны аэрации. С подземным стоком может мигрировать в реку почти 80 % этого количества азота, а 20 % оставаться в зоне аэрации и в водоносных горизонтах.

**Антропогенная** биогенная нагрузка на бассейн Кудьмы особенно высока по фосфору. Она в 16 раз превышает климатический фон, обусловленный поступлением на дневную поверхность фосфора с выпадающими осадками. Менее существенно превышение по азоту – 3,4 раза. Из учтенных факторов антропогенного поступления биогенов к наиболее существенным относятся животноводство и внесение минеральных удобрений. Причем, биогенная нагрузка от животноводства в отношении азота по величине практически такая же, как от растениеводства, а по фосфору даже больше – в 2 раза. Во многом такая ситуация обусловлена сокращением посевных площадей (по сравнению с 1990 г. на 44 %) и низким уровнем применения удобрений. В последние годы в Нижегородской области применение азотсодержащих удобрений составляет лишь 41 % от его максимальной величины в 1990 г., а фосфорсодержащих еще меньше – 25 % [1, 5].

Вклад **сточных** вод от водопотребления в суммарный вынос биогенных веществ с водосбора р. Кудьмы в последние годы составляет около 13 % по азоту минеральному и 5 % по фосфору. Преобладает их диффузный вынос с поверхностным и подземным стоком.

Роль элементов водного баланса в миграции биогенных веществ весьма существенно изменяется в многолетнем плане и по сезонам года. В последние годы (2008–2018) существенно увеличился вынос биогенных веществ (до 298 кг/км<sup>2</sup> азота и 7,7 кг/км<sup>2</sup> фосфора) с водосборной площади р. Кудьмы за **годовой период** (азота на 28 % и фосфора на 20 %), главным образом за счет значительного увеличения подземного стока (на 60 %), вклад которого в годовой сток азота вырос до 67 %, а фосфора до 56 %. С каждого квадратного километра площади водосбора с подземным стоком в реку в последние годы стало поступать азота в среднем на 104 кг больше, чем с поверхностной составляющей стока, а фосфора – на 1 кг/км<sup>2</sup> больше. В миграции фосфора более важную роль, по сравнению с подземным стоком, играет поверхностный сток с водосборной площади.

Вынос азота с суммарным речным стоком сравнительно равномерно распределяется по сезонам года – с максимумом в половодье (37 % от годовой величины выноса) и с минимумом в маловодный сезон холодного периода (29 %). В отличие от азота внутригодовое распределение выноса фосфора

неравномерное, с максимумом в сезон половодья (50 % его годовой величины) и минимумом в летне-осеннюю (25 %) и осенне-зимнюю межень (25 %).

По состоянию на 1975 г. диффузный вынос с водосбора р. Кудьмы минерального азота со стоком в *половодье* составлял весьма существенную величину – 43 % его выноса за весь годовой период (фосфора – 55 %). Наибольший вынос биогенных элементов наблюдался со стоком инфильтрационного происхождения (верховодкой и подземным) – азота 70 % и фосфора 59 % суммарного выноса. В последние годы вынос в половодье биогенных веществ с суммарным стоком вырос на 8 %, главным образом за счет увеличения выноса с подземной составляющей стока (азота на 26 % и фосфора на 24 %).

Существенную роль в миграции азота в период весеннего половодья играет его поступление с атмосферными осадками. Доля осадков (атмосферной составляющей) в выносе азота с суммарным речным стоком составляет 28 % или 28 кг/км<sup>2</sup>. На долю ландшафтной составляющей (вымывание азота из растительности, лесной подстилки, почвы и грунтов зоны аэрации) приходится 72 %. Коэффициент доставки азота, содержащегося в снеге на водосборной площади, к замыкающему створу составляет в среднем около 0,5.

Диффузный вынос биогенных веществ с водосбора р. Кудьмы за *маловодный период года* (от даты окончания весеннего половодья до даты начала следующего) с полным речным стоком весьма значительный. По величине он близок к выносу в половодье, составляя 63 % выноса азота за весь годовой период и 50 % выноса фосфора. Причем в маловодный период года миграция биогенных веществ в речную сеть осуществляется главным образом с подземным стоком, вклад которого в общий вынос биогенных веществ с суммарным речным стоком составляет в этот период около 77 % азота и 86 % фосфора. В последние годы вынос биогенных веществ с суммарным речным стоком увеличился (на 35-40 %), в основном вследствие увеличения его подземной составляющей.

Полученные результаты носят ориентировочный характер. Более детальный анализ элементов водно-биогенного баланса речного бассейна, как расходной его части, так и приходной, – предмет дальнейших исследований. К их числу относятся поступление биогенных веществ в результате биологической фиксации азота (в лесах, на залежах и лугах), потребление при синтезе органического вещества в растениях, влияние дорожно-транспортной сети на их вынос и др. Также еще слабо изучена роль водорослей, обитающих в почве и мигрирующих с водным стоком в речную сеть и водохранилища, в том числе синезеленых.

Ответу на целый ряд еще не решенных вопросов будет способствовать восстановление ныне закрытых и организация новых воднобалансовых станций, в программе работ которых важная роль должна быть отведена изучению качества вод.

*Статья подготовлена по проекту РНФ № 20-17-00209 (методика и расчет изменений выноса биогенных веществ) и гранту РФФИ № 18-05-00479 (расчет баланса биогенных веществ).*

#### Список литературы

1. Абрамов А.И., Крымова Е.А. Состояние плодородия пахотных земель в Нижегородской области // ФГБУ Центр агрохимической службы «Нижегородский», 2014, режим доступа: <https://agrohim-nn.ru/stati/47-sostoyanei-plodorodiya-pakhotnykh-zemel-v-nizhegorodskoj-oblasti.html>.
2. Долгов С.В., Коронкевич Н.И. Гидрологическая ярусность равнинной территории // Известия РАН, серия географическая. 2010. № 1. С. 7-25.
3. Долгов С.В., Коронкевич Н.И. Современные изменения выноса биогенных веществ в реки бассейна Волги на юге лесной зоны // Известия РАН. Серия географическая. 2019. № 5. С. 43-55.
4. Коронкевич Н.И. Водный баланс Русской равнины и его антропогенные изменения. М.: Наука, 1990. 204 с.
5. Нижегородская область в цифрах. 2017: Краткий стат. сб. / Нижний Новгород: Нижегородстат, 2017. 375 с.
6. Родин Л.Е. и Базилевич Н.И. Динамика органического вещества и биологический круговорот в основных типах растительности земного шара. М.-Л.: Изд-во «Наука», 1965. 254 с.
7. Родин Л.Е., Ремезов Н.П., Базилевич Н.И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л.: Наука, 1968. 145 с.
8. Хрисанов Н.И., Осипов Г.К. Управление эвтрофированием водоемов. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 279 с.

## ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ АЛЮМИНИЯ В ОСНОВНЫХ РЕКАХ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ АБСОЛЮТНЫХ ВЫСОТ

Ф.Р. Дреева, Н.В. Реутова, Т.В. Реутова  
*Кабардино-Балкарский научный центр РАН, Нальчик, Россия*  
*f.dreeva@mail.ru*

Реки Центрального Кавказа в горной зоне Кабардино-Балкарской республики представляют особый интерес для изучения влияния различных природных и антропогенных факторов на состав природных вод, т.к. от истоков до устья они пересекают высотные зоны от нивального пояса до предгорных степей. По целому ряду микроэлементов здесь отмечаются превышения нормативов как для рыбохозяйственных водоемов, так и для питьевых вод [3]. Один из таких элементов – алюминий, хроническое загрязнение которым характерно для всех основных рек региона исследования [2], что связано с его поступлением из дренируемых горных пород [4]. При этом, избыточное поступление алюминия в организм человека оказывает негативное влияние на почки, центральную нервную систему, кости, легкие и др. [7], в том числе увеличивает риск возникновения таких нейродегенеративных заболеваний, как болезнь Альцгеймера и старческая деменция [6]. Ранее нами были выявлены некоторые особенности микроэлементного состава вод горных рек Кабардино-Балкарской республики, однако мы не рассматривали связь изменения абсолютных высот и содержания алюминия при транзите вод от высокогорной зоны до выхода на равнину, поэтому решили изучить возможные закономерности.

Высокогорье приходится на территорию, занятую Главным Кавказским, Боковым и Передовым хребтами, а также межгорными депрессиями между ними. Здесь берут начало основные реки района исследования – Малка, Баксан, Чегем, Черек с истоками Черек Балкарский и Черек Безенгийский - на высотах свыше 2500 м н.у.м. от ледников Главного и Бокового хребтов. Высотные отметки линии уреза воды в пунктах отбора проб в высокогорье находятся в диапазоне 1160 – 2550 метров, а верхние пункты - на высотах 1600-2550 м в зависимости от доступности. Среднегорная зона соответствует Скалистому хребту и Северо-Юрской депрессии. Створы наблюдения здесь находятся на высотах от 800 до 1100 метров н.у. м. В низкогорье (Пастбищный и Лесистый хребты) и в зоне выхода рек на предгорную равнину высотные отметки пунктов отбора проб находятся в диапазоне от 390 до 780 м н.у.м. в лесостепном поясе.

Пробы отбирали в июне-июле в период максимального таяния ледников в 32 пунктах (таблица) в соответствии с ГОСТом. Содержание растворимой формы алюминия в пробах определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе МГА-915 в соответствии с методикой производителя. На основе усредненных данных за период наблюдения с 2014 по 2018 гг. были построены диаграммы (рисунок).

Таблица – Пункты отбора проб на основных реках Центрального Кавказа в пределах Кабардино-Балкарии

№№ п.п.	Водный объект (длина, км)	Местоположение пункта	Расстояние от истока (L), км	Координаты		Высота над у.м. (м) h
				N	E	
1	Р.Малка (210)	Поляна Эммануэля, до впадения р. Уллукол.	10,6	43°26'04,2"	42°30'50,8"	2550
2		До впадения р. Бирджалы	12,4	42°54'25,6"	42°54'25,6"	2362
4		До впадения р. Сирх (мост)	15,75	43°27'24"	42°33'13"	2008
5		Выше с. Хабаз	65,6	43°43'26,9"	42°54'25,6"	950
6		До впадения р. Кичмалка	79,1	43°44'04"	43°03'05"	802
7		Село Сармаково	93,9	43°45'00"	43°12'27"	679
31		Р. Баксан(169)	Поляна Азау	3,3	43°16'12"	42°28'27"
32	Поворот на поляну Чегет		8,1	43°14'56"	42°31'37"	2100
33	До впадения р. Адылсу		17,7	43°14'54"	42°38'17"	1800
34	Ресторан «Алапат»		35,3	43°19'40"	42°48'09"	1466
35	До впадения р. Гижгит		59,4	43°26'42"	43°00'07"	1094
36	С.Бедык		76,2	43°30'50"	43°09'21"	877
37	С.Исламей, утес Кызбурун		112,3	43°40'13"	43°28'39"	515
100	Р. Чегем (103)	Выше впадения р. Джайлык	8,9	43°12'26"	42°59'27"	2074
101		До впадения р. Гара-Аузусу	14,7	43°12'36"	43°03'13"	1862
102		Выше с.Булунгу, мост	19,3	43°13'21"	43°06'18"	1655
103		Ниже с. Эльтубю	29,1	43°17'25"	43°09'12"	1519
104		Перед впадением р.Адайсу)	55,8	43°28'19"	43°10'08"	952
105		У теплого источника выше с. Лечинкай	70,3	43°32'14"	43°22'41"	750
106		Г. Чегем, мост	88,7	43°34'27"	43°35'00"	480
127	Р.Черек(Балкарский) (133)	В 2 км ниже слияния рек Дыхсу и Карасу	11,1	43°01'20,7"	43°19'11,5"	1600
128		Плотина Верхне-Балкарской ГЭС	17,8	43°03'54"	43°22'04"	1383
129		До впадения р. Ишкырты	25,6	43°06'18"	43°25'55"	1160
130		Ниже с. Верхняя Балкария	32,7	43°09'17"	43°28'57"	1035
275		Выше с.Бабугент	47,2	43°15'44,9"	43°32'32,2"	764
132		С.Кашхатау	58,05	43°19'35"	43°37'51"	653
133		Село Старый Черек	82,25	43°27'58"	43°50'03"	391
156	Р. Черек Безенгийский (54,0)	А/л Безенги	9,05	43°07'04"	43°09'00"	2032
160		Ниже слияния р.р. Безенги и Мижирги на 2 км	11,2	43°07'59,8"	43°14'14,7"	1920
164		Выше с. Безенги	24,5	43°12'49"	43°17'01"	1480
169		Выше с. Карасу	40,8	43°17'36"	43°24'13"	981
152		Село Бабугент, устье	53,3	43°16'59"	43°33'20"	775

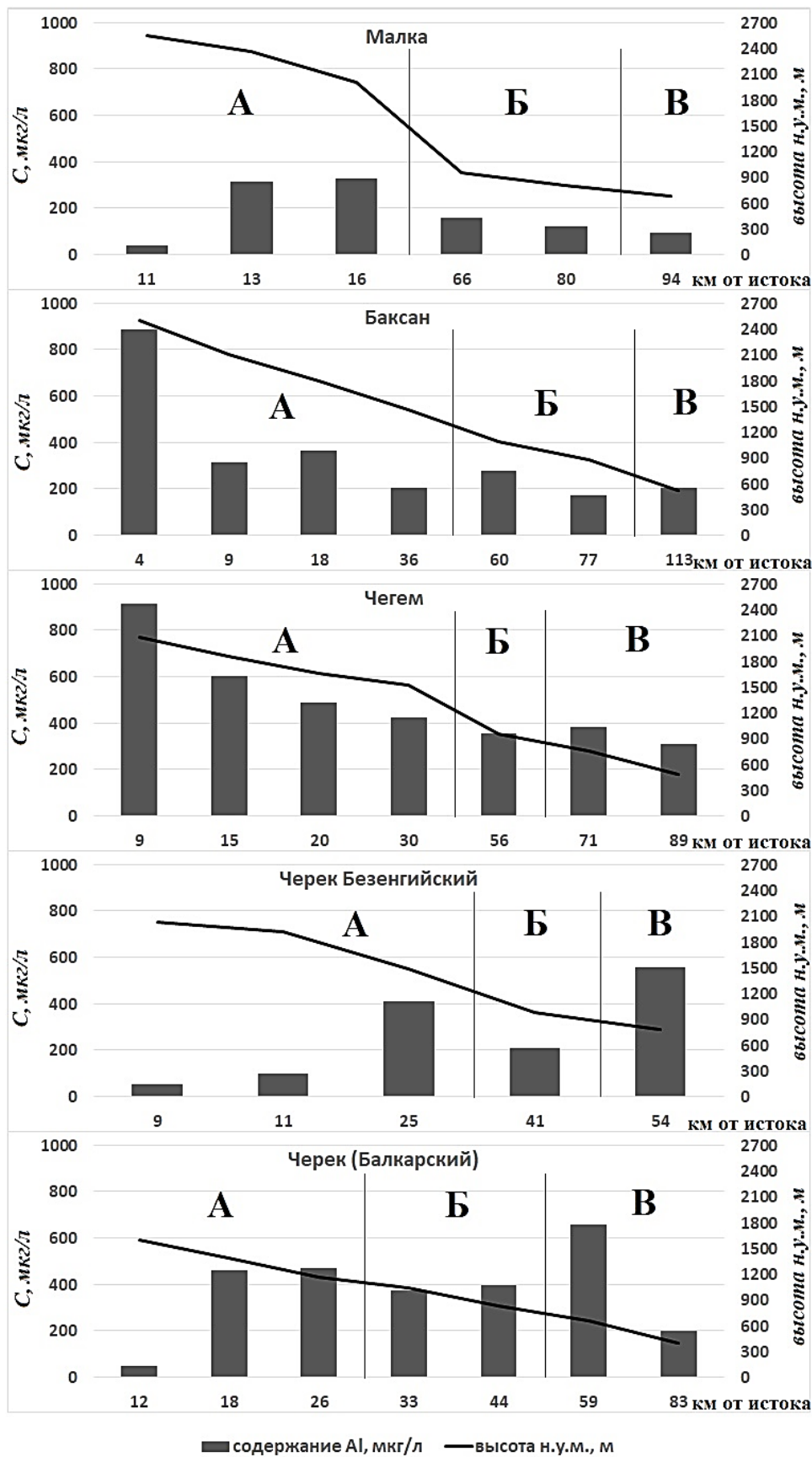


Рисунок – Динамика содержания алюминия в основных реках Кабардино-Балкарии и абсолютные отметки высот пунктов отбора проб. А – высокогорная зона; Б – среднегорная зона; В – низкоегорье и зона выхода рек на предгорную равнину

В высокогорной зоне содержание алюминия характеризуется не только наибольшими концентрациям, но и наибольшим их разбросом в различных бассейнах. Если в верхних створах на реках Чегем и Баксан содержится около 900 мкг/л алюминия, то в реках Малка, Черек Безенгийский и Черек Балкарский средние концентрации не превышают 55 мкг/л, однако в 11 пунктах из 17 концентрации алюминия находятся в пределах от 200 до 600 мкг/л. При этом в высокогорье на первых километрах течения рек сильно отличаются по составу и возрасту дренируемые горные породы [1]. В верхнем течении р. Черек Балкарский и р. Черек Безенгийский протекают по осадочным породам юрской системы и кристаллическим породам протерозоя. В верховьях Малки, Баксана и Чегема распространены молодые эффузивные породы, однако основной исток р. Малка – р. Кызылкол – протекает в зоне разлома, а его левые притоки берут начало на южном склоне Передового хребта, сложенного более древними кристаллическими породами.

В среднегорье концентрации алюминия варьируют в меньших пределах - от 120 мкг/л на 80-м км р. Малка до 400 мкг/л на 44-м км р. Черек Балкарский, а наиболее типичный уровень содержания алюминия – 200-400 мкг/л. Состав дренируемых пород здесь также однообразен (осадочные породы юрской системы).

В низкогорной зоне разброс значений средних концентраций снова увеличивается (100-660 мкг/л), хотя при этом максимальные концентрации (560-660 мкг/л) характерны для зоны слияния рек Черек Балкарский и Черек Безенгийский, где находится множество выходов карстовых вод с большим расходом, из-за чего резко увеличивается содержание сульфатов в этих створах [5]. Из-за изменения гидрохимических условий резко увеличивается и миграционная активность алюминия.

Общая тенденция по снижению содержания алюминия, совпадающая с уменьшением абсолютных высот, прослеживается только для рек Баксан и Чегем. В реках Малка и Черек с истоками Черек Балкарский и Черек Безенгийский эта закономерность нарушается в верхних пунктах отбора проб из-за влияния состава дренируемых горных пород и изменения гидрохимических условий в низкогорной зоне. В связи с этим можно сделать вывод, что несмотря на существование связи между уменьшением концентраций алюминия в водах исследуемых рек и абсолютными высотами пунктов отбора проб, состав дренируемых горных пород и гидрохимические условия оказывают влияние на содержание алюминия в большей степени.

#### Список литературы

1. Атлас Кабардино-Балкарской республики / Под ред. Бураева Р.А. М.: Федеральная служба геодезии и картографии России, 1997. 42 с.
2. Доклад об экологической ситуации и природопользовании в Кабардино-Балкарской Республике в 2017 году / Нальчик, 2018. 291 с.
3. Дреева Ф.Р., Реутова Н.В., Реутова Т.В., Хутуев А.М., Керимов А.А. Превышение экологических норм содержания тяжелых металлов в природных водах высокогорной зоны Кабардино-Балкарской республики / Устойчивое

развитие: проблемы, концепции, модели. Материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 75-летию председателя ФГБНУ «Федеральный научный центр «Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук», доктора технических наук, профессора П.М. Иванова. 2017. С. 132-134.

4. Реутова Н.В., Реутова Т.В., Дреева Ф.Р., Хутуев А.М., Керимов А.А. Особенности содержания алюминия в реках горной зоны Центрального Кавказа // Экологическая химия. 2018. Т. 27. № 3. С. 124-134.

5. Реутова Т.В., Дреева Ф.Р., Реутова Н.В., Хутуев А.М. Изменение ионного состава природных вод от высокогорной до низкогорной зоны Центрального Кавказа // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2018. Т. 3. № 1 (9). С. 33-41.

6. Rondeau, V., Jacqmin-Gadda, H., Commenges, D., Helmer, C., Dartigues, J.-F. Aluminum and Silica in Drinking Water and the Risk of Alzheimer's Disease or Cognitive Decline: Findings From 15-Year Follow-up of the PAQUID Cohort // American Journal of Epidemiology. 2009. Vol. 169, №4, p. 489-496. DOI: 10.1093/aje/kwn348

7. Shugalei I.V., Garabadzhiu A.V., Ilyushin M.A., Sudarikov A.M. Some aspects of the effect of aluminum and its compounds on living organisms // Russian Journal of General Chemistry. 2013. Т. 83. № 13. С. 2633-2646.



# ФАКТОРНАЯ МОДЕЛЬ СОСТАВА РЕЧНЫХ ВОД ОКИ В ФОНОВОМ СТВОРЕ ГОРОДА КАЛУГИ

М.В. Захарова

*Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского, Калуга,  
ZaharovaMV@tksu.ru*

Природные воды представляют собой динамичную химическую систему, содержащую сложный комплекс газов, минеральных и органических веществ, а также взвесей и коллоидов, формирование которой зависит от условий окружающей среды и процессов, которые протекают как в водных объектах, так и вне их. Одной из актуальных задач современной гидрохимии остается познание формирования ионного состава воды. Кроме того, знание особенностей химического состава природных вод имеет огромное практическое значение для развития различных отраслей экономики [3].

Данная работа посвящена исследованию факторной структуры типичных показателей, характеризующих качество воды, которые измеряются по программе наблюдений Калужского ЦГМС – филиала ФГБУ «Центральное УГМС» в фоновом створе р. Ока, 4 км выше г. Калуга, 0,5 км выше сброса сточных вод свх. им. Циолковского. Массив данных наблюдений за период 2006-2016 гг. представлен рядами средних годовых, минимальных и максимальных значений следующих показателей: кислород, запах, прозрачность, цветность Pt-Co, температура, взвешенные вещества, рН, магний, натрий и калий, кальций, хлориды, сульфаты, гидрокарбонаты, сумма ионов, жесткость, окисляемость бихроматная, БПК<sub>5</sub>, аммоний, нитриты, нитраты, фосфаты, кремниевая кислота, фосфор общий, железо общее, железо (II), медь, цинк, никель, хром общий, хром (III), хром (VI), фенолы летучие, нефтепродукты, АСПАВ, расходы воды.

Поскольку показатели качества воды имеют различную природу и различны по вредности, то для исследования различных аспектов формирования качества поверхностных вод, применяются различные методы многомерной прикладной статистики, одним из которых является факторный анализ [1]. Факторная модель дает возможность выявить структуру связей между относительно большим числом исследуемых показателей посредством меньшего числа факторов. Факторы являются одинаковыми для всех рассматриваемых показателей, но входят в каждый из них со своим весом.

Основная модель факторного анализа позволяет представить данные наблюдений в виде линейной комбинации факторов [2]:

$$x_j = \sum_{i=1}^p a_{ij} F_i + v_j, (j=1, N), (1)$$

где  $F_i$  – некоррелируемые факторы;

$a_{ij}$  – факторные нагрузки;

$v_j$  – независимые остатки.

Показатель  $x_j$  линейно зависит от  $p$  общих факторов  $F_p$  и независимых остатков  $v_j$ . Независимые остатки  $v_j$  позволяют учесть специфику показателей качества воды, а также обнаружить ошибку в их измерениях. Факторные нагрузки  $a_{ij}$  имеют вид коэффициентов корреляции и указывают на тесноту связей между факторами  $F_i$  и начальными показателями  $x_j$ .

Для отбора независимых параметров в статье исследовалась матрица коэффициентов корреляции, состоящая из 35 перечисленных показателей. В процессе статистического анализа выяснилось, что ряд показателей фактически являются дублирующими и малоинформативными, создают помехи для анализа, формируя «шум». Таким образом, окончательный комплекс принят состоящим из 16 наиболее представительных показателей (прозрачность, рН, сумма ионов, БПК<sub>5</sub>, аммоний, фосфаты, кремнекислота, железо общее, медь, цинк, никель, хром общий, фенолы летучие, нефтепродукты, АСПАВ, расходы воды). Между выбранными показателями выполняются два основных предположения, необходимые для осуществления факторного анализа: линейность взаимных связей с небольшими коэффициентами корреляции и соответствие нормальному закону распределения.

Процедура факторного анализа осуществляется с помощью пакета статистического анализа Statistica. Для исследования выбрана R-модель факторного анализа, которая связана с исследованием соотношений между переменными. Для вычисления факторных нагрузок применен метод главных осей, для достижения принципа «простой структуры» – вращение осей Quartimax.

Поскольку все исследуемые показатели разнородны, то перед процедурой факторного анализа они стандартизируются. По таблице с собственными значениями определяется процент дисперсии исходных рядов. В данном случае (таблица 1) собственное значение для первого фактора равно 8,48, а доля дисперсии, объясненная первым фактором, равна приблизительно 53,0 %. Второй фактор включает в себя около 11,6 % дисперсии. Таким образом, два первых фактора объясняют около 65 % дисперсии исходных рядов.

Таблица 1 – Таблица собственных значений корреляционной матрицы

Факторы	Собственные значения	% общей дисперсии	Накопленные собственные значения	Накопленные собственные значения, %
1	8,48	53,0	8,48	53,0
2	1,85	11,6	10,3	64,6

По графику «каменистой осыпи», который демонстрирует применение критерия осыпи Кэттеля, уточняется число учитываемых факторов (рисунок). Анализируя график собственных значений, видно, что выделяется два главных фактора с собственными значениями, которые превышают единицу.

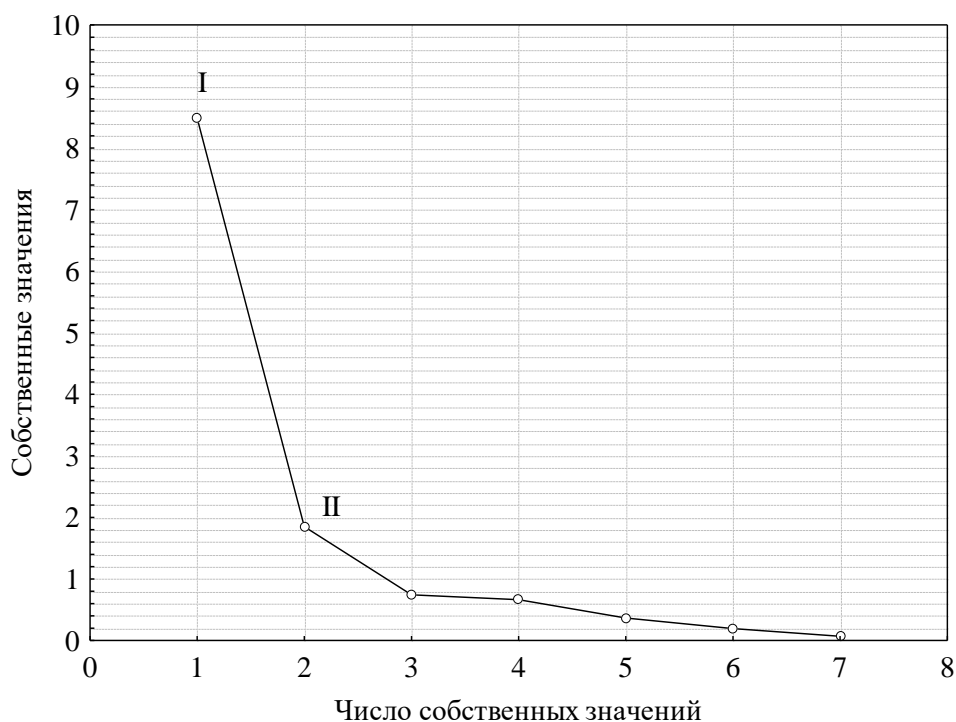


Рисунок – График «каменистой осыпи» для выбора числа эффективных факторов I-II

В таблице 2 приводятся сведения о факторных нагрузках. Факторы ранжированы в порядке уменьшения их абсолютных величин, выражаемых величиной общей дисперсии фактора на показателях, которые он включает, и значимостью фактора, которая характеризует вклад определенного фактора в формирование общей дисперсии всех показателей, включенных в факторный анализ.

Факторная модель описывает общую дисперсию полей рассчитанных показателей с помощью двух факторов. Значимость первого фактора в формировании общей дисперсии составляет 52,0 %, второго фактора – 12,6 %. В таблице 2 также рассчитана общая часть дисперсии, которая показывает, насколько полно отражены исследуемые показатели в двух факторах. Наиболее полно в двух факторах выражены прозрачность (на 98 %), достаточно высоко – сумма ионов (на 82 %), никель (на 81 %), слабее всего – расходы воды (на 35 %), которые очевидно, не связаны тесно ни с одним из включенных в исследование показателей.

В модели интерпретируются факторные нагрузки, превышающие величину 0,7. На первый фактор приходится большая часть дисперсии. В его формировании участвует большая часть исследуемых показателей. Наибольшую нагрузку на него имеет сумма ионов (0,90), отражающая макрокомпонентный состав воды. Высокие, но менее значимые нагрузки несут остальные показатели: никель (0,87), БПК<sub>5</sub> (0,85), медь (0,84), нефтепродукты (0,82) и некоторые др.

Таким образом, исходя из анализа факторной матрицы, расчета

процентной доли показателей, формирующих фактор, а также из учета коэффициентов корреляции между показателями, первый фактор можно рассматривать как фактор, описывающий гидрохимические показатели, формирующие качество речных вод в наибольшей степени. Показателями, имеющими наибольшие нагрузки на второй фактор, являются прозрачность (0,86) и рН (0,86) воды.

Таблица 2 – Матрица факторных нагрузок, полученная методом главных осей

№ п/п	Показатель	$F_1$	$F_2$	Величина сумм квадратов факторных нагрузок
1	Прозрачность	0,48	<b>0,86</b>	0,98
2	Сумма ионов	<b>0,90</b>	0,14	0,82
3	Никель	<b>0,87</b>	-0,22	0,81
4	БПК <sub>5</sub>	<b>0,85</b>	0,17	0,75
5	Медь	<b>0,84</b>	0,17	0,74
6	рН	-0,01	<b>0,86</b>	0,73
7	Нефтепродукты	<b>0,82</b>	0,07	0,68
8	Хром общий	<b>0,81</b>	-0,12	0,67
9	Фосфаты	<b>0,80</b>	0,12	0,65
10	Железо общее	0,60	0,51	0,62
11	АСПАВ	<b>0,75</b>	-0,19	0,60
12	Кремнекислота	<b>0,73</b>	0,02	0,53
13	Цинк	<b>0,71</b>	-0,05	0,51
14	Ион-аммония	0,68	0,15	0,48
15	Фенолы летучие	0,60	0,23	0,41
16	Расходы	0,59	-0,05	0,35
	Объясненная дисперсия	8,32	2,01	
	Вклад факторов в общую дисперсию	52,0 %	12,6 %	

Заключительным этапом анализа является проверка адекватности модели. Одним из признаков адекватности модели считается отсутствие значимых остаточных корреляций (или независимых остатков). В таблице 3 приводятся значения остаточных корреляций, которые интерпретируются как «сумма» корреляций, за которые не могут отвечать два полученных фактора.

Диагональные элементы данной матрицы содержат стандартное отклонение. Как видно в таблице 3 остаточные коэффициенты корреляции малы и не превышают значение 0,27. Количество остаточных коэффициентов корреляции, превышающих 0,10 достаточно невелико, что дает возможность признать данную модель адекватной. Однако недостатком описываемой модели следует признать невысокий процент объясняемой двумя выделенными факторами дисперсии (65 %).

Таблица 3 – Матрица остаточных корреляций факторной модели (номера показателей из таблицы 2)

	1	6	2	4	9	12	5	13	3	8	7	11
1	0,02											
6	0,08	0,27										
2	-0,01	-0,01	0,18									
4	-0,04	<b>-0,10</b>	-0,06	0,25								
9	-0,06	-0,04	0,09	-0,01	0,35							
12	0,00	0,00	0,08	0,02	<b>0,10</b>	0,47						
5	-0,03	-0,08	-0,02	<b>0,12</b>	0,00	0,03	0,26					
13	0,04	0,00	-0,04	0,00	<b>-0,19</b>	<b>-0,20</b>	<b>0,10</b>	0,49				
3	0,03	0,01	0,01	-0,05	0,02	<b>0,12</b>	-0,03	-0,03	0,19			
8	0,07	0,08	0,01	-0,08	0,01	0,00	<b>-0,12</b>	-0,06	0,04	0,33		
7	0,02	0,04	0,09	-0,09	0,03	0,00	<b>-0,15</b>	-0,06	0,02	<b>0,20</b>	0,32	
11	0,06	0,04	-0,07	0,03	<b>-0,14</b>	-0,07	-0,01	<b>0,27</b>	0,00	0,05	<b>-0,10</b>	0,40

Применение факторного анализа для построения модели состава речных вод Оки в фоновом створе г. Калуги позволило оценить структуру взаимосвязей в составе речных вод. Факторный анализ дал возможность определить 12 репрезентативных показателей, имеющих наибольшую факторную нагрузку. По анализу корреляционной и факторной матриц можно сделать вывод о том, что факторная модель в целом отражает реальные связи между отдельными показателями, характеризующими состав речных вод и формирующими их качество.

#### Список литературы

1. Дружинин Н.И., Шишкин А.И. Математическое моделирование и прогнозирование загрязнения поверхностных вод суши. Л.: Гидрометеоздат, 1989. 390 с.
2. Дубровская Л.И., Князев Г.Б. Компьютерная обработка естественно-научных данных методами многомерной прикладной статистики: Учебное пособие. Томск: ТМЛ-Пресс, 2011. 120 с.
3. Никаноров А.М. Гидрохимия: Учебник. СПб.: Гидрометеоздат, 2001. 444 с.

## МАССОПЕРЕНОС ГЛАВНЫХ ИОНОВ ПРИ РАЗГРУЗКЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ЧЕТВЕРТИЧНОГО ВОДОНОСНОГО КОМПЛЕКСА В АЗОВСКОЕ МОРЕ

Е.А. Зубков<sup>1)</sup>, Д.Н. Гарькуша<sup>2)</sup>, О.Б. Барцев<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>*Институт водных проблем РАН, Москва, nauka-geo@mail.ru*

<sup>2)</sup>*Институт наук о Земле Южного федерального университета, Ростов-на-Дону, gardim1@yandex.ru*

Вынос растворенных веществ с подземным стоком – один из наиболее важных процессов миграции химических элементов в земной коре [3, 4, 9]. Влияние подземного стока сказывается на общем солевом балансе водотоков и конечных водоемов стока. Так же подземный сток является важным фактором загрязнения придонных слоев воды и донных отложений приоритетными загрязняющими веществами, концентрации которых контролируются в обязательном порядке в рамках национального мониторинга поверхностных вод суши [4, 11, 14]. Негативное воздействие подземных вод для водосборного бассейна Азовского моря усугубляется последствиями развития процессов подтопления, спровоцированными во второй половине XX века активизацией мелиоративной деятельности и нарушением регионального гидродинамического баланса территории [5, 10]. Обуславливающий процессы подтопления подъем уровня грунтовых вод способствует увеличению их доли в питании рек и росту выноса легкорастворимых солей и загрязняющих веществ в их составе [1, 10].

Как правило, ведущее участие в подземном питании рек и водоемов Европейской территории России принимают воды активного водообмена первого от поверхности (грунтового) или нескольких верхних водоносных горизонтов, расположенных выше местных базисов эрозии [2, 7]. Например, в работе [2], из всех водоносных горизонтов (архей-протерозойский, нижнекотлинский, кембро-ордовикский, ордовикский, четвертичный), имеющих разгрузку в более глубокий (до 121 м), по сравнению с Азовским морем, Финский залив Балтийского моря, вклад разгружающихся вод четвертичного водоносного горизонта составляет около 94 %.

Анализ гидродинамического материала и графических построений показывает, что прямой или косвенный подземный сток в Азовское море имеют нижнемеловые, верхнемеловые, палеогеновые, неогеновые и четвертичные водоносные комплексы, развитые в пределах Азово-Кубанской и Причерноморской впадин, а также тектонических структур Степного и Горного Крыма. При этом основной вклад в общий подземный сток вносят воды четвертичного водоносного комплекса.

В настоящей работе авторами проведена количественная и качественная оценка подземного стока четвертичного водоносного комплекса, как наиболее изученного и доминирующего элемента в подземном питании Азовского моря.

Район исследования расположен на юге Восточно-Европейской равнины и занимает площадь около 140 тыс. км<sup>2</sup>, что составляет 30 % от общей площади водосборного бассейна Азовского моря. Основные закономерности динамики

подземных вод в пределах верхнего структурно-гидрологического яруса исследуемой территории, как правило, определяются гидравлической связью с поверхностью, что обуславливает формирование здесь местных потоков подземных вод, а также особенностей водообмена согласно схеме А.Н. Митяева [12].

Используемый в настоящей работе гидродинамический метод расчета латерального потока подземных вод основан на применении закона фильтрации Дарси, где главным параметром является удельный расход фильтрационного потока с поперечным сечением при определенном градиенте напора [12]. Данная методика показала свою адекватность на примере нижнего течения реки Дон [1].

В результате обобщения гидрогеологического материала условная область разгрузки в пределах рассматриваемой территории была дифференцирована на 11 расчетных участков стока, выделяющихся сходными условиями распределения подземных вод и региональной направленности их движения (рисунок 1).

Формирование гидрохимического состава подземных вод четвертичного комплекса, как части водного баланса Азовского моря, в основном, происходит в геоструктурных элементах Азово-Кубанской и Причерноморской впадин, Степного и Горного Крыма и определяется, главным образом, процессами выщелачивания и смешения [13]. Минерализация подземных вод бассейна Азовского моря, в основном, варьирует от 0,6 до 5 г/дм<sup>3</sup>. Наиболее распространёнными водами являются сульфатные, сульфатно-гидрокарбонатные, сульфатно-хлоридные и хлоридно-сульфатные, реже гидрокарбонатные и хлоридные. Катионный состав вод отличается большим разнообразием с преобладанием натриевых и кальциево-натриевых вод с возрастанием доли кальциевых и натриево-кальциевых в северной части водосборного бассейна.

Изучение стока подземных вод четвертичного водоносного комплекса показало, что с относительно гипсометрически высокой северной части (Причерноморская впадина) бассейна разгружается около 65232 м<sup>3</sup>/сут (98,4 % от общего стока подземных вод), а на гипсометрически низкие, с незначительными уклонами поверхности юго-восточную и восточную (дельта Дона) части бассейна (Азово-Кубанская низменность) приходится всего 1063 м<sup>3</sup>/сут. Наибольшие величины удельного расхода грунтовых вод характерны для расчетных участков, расположенных в пределах Причерноморской впадины: «Миусский лиман – Морской Чулек» (24239 м<sup>3</sup>/сут), «Белосарайская коса – Седово» (1937 м<sup>3</sup>/сут), «Приморск – Бердянск» (18400 м<sup>3</sup>/сут). Среднегодовой объем стока составляет 0,024 км<sup>3</sup>/год (66296 м<sup>3</sup>/сут), что соответствует около 0,1 % от среднегодового расхода воды в устьевом створе реки Дон [8].

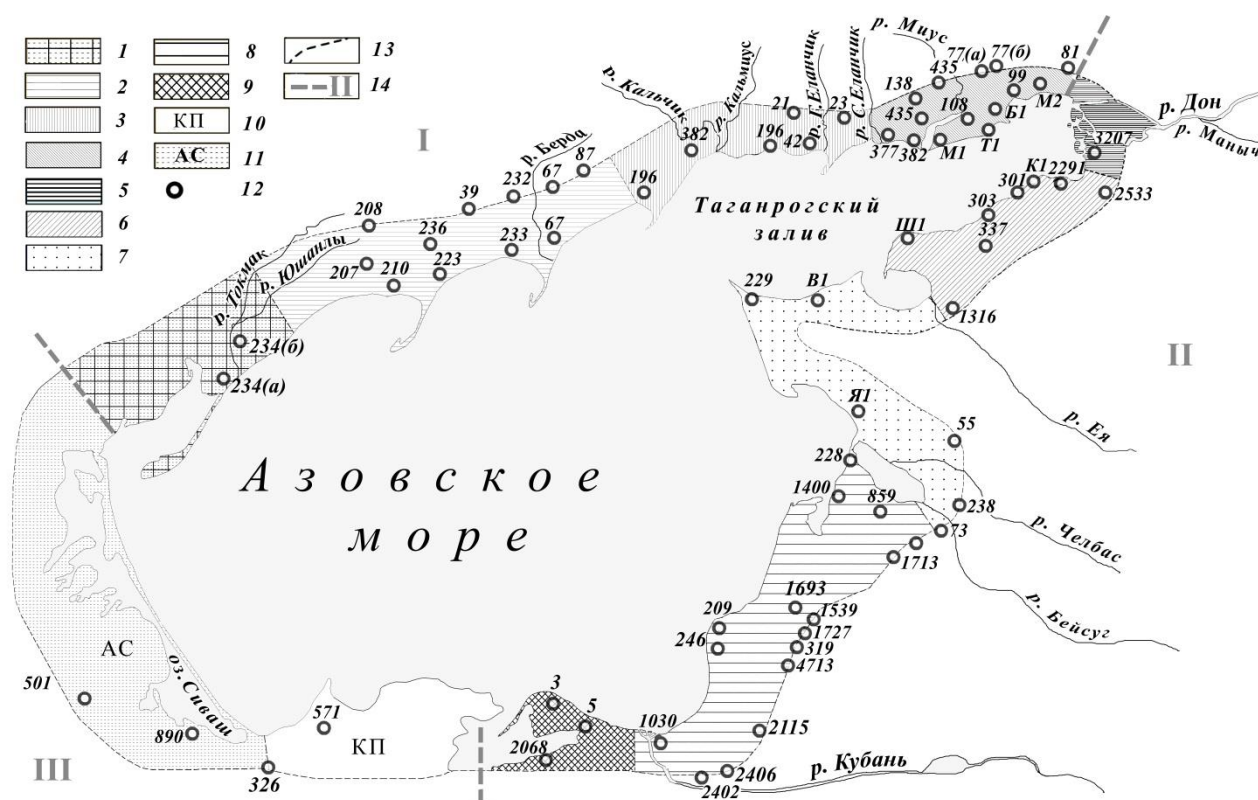


Рисунок 1 – Карта-схема распределения зон фильтрации (участки: 1 – «Молочный лиман»; 2 – «Приморск – Бердянск»; 3 – «Белосарайская коса – Седово»; 4 – «Миусский лиман – Морской Чулек»; 5 – «Дельта Дона»; 6 – «Береговое – Шабельское»; 7 – «Ейский полуостров»; 8 – «Приморско-Ахтарск – Темрюк»; 9 – «Таманский полуостров»; 10 – «Керченский полуостров»; 11 – «Арабатская стрелка»; 12 – точки отбора проб подземных вод; 13 – условные границы участков; 14 – условные границы геоструктурных элементов: I – Азово-Кубанская впадина, II – Причерноморская впадина, III – Степной и Горный Крым)

Общая среднегодовая величина ионного стока, определенная исходя из данных гидрохимического опробования подземных вод четвертичного водоносного комплекса и рассчитанных параметров стока, составляет ~87000 т/год, что не превышает 1 % от среднегодового стока главных ионов в составе вод р. Дон [1, 6]. Наибольший вклад в подземный сток вносят сульфат-ионы (41105 т/год или 47,2 % от суммарного выноса главных ионов), что определяется, в основном, составом почв и водовмещающих осадочных пород, большая часть которых содержит значительное количество гипса и сульфидов железа [5, 10, 11]. В среднем, с учетом уменьшения вклада в суммарный вынос, главные ионы располагаются в следующем порядке:

$SO_4^{2-}$  (47,2 %) >  $Na^+ + K^+$  (19,5 %) >  $Cl^-$  (13,2 %) >  $HCO_3^-$  (9,7 %) >  $Ca^{2+}$  (6,9 %) >  $Mg^{2+}$  (3,5 %)

Как показывают данные исследований, в составе подземных вод северных участков бассейна, расположенных в пределах Причерноморской впадины, выносятся более 98 % общего объема основных ионов, что обусловлено величиной модуля подземного стока с данных участков.

Сравнение полученных объемов выноса основных ионов в составе подземного стока четвертичного водоносного комплекса в Азовское море,



минуя речную сеть, с объемом выноса ионов водами р. Дон – наиболее крупной реки, впадающей в Азовское море, свидетельствует о подчиненной роли подземных вод в формировании концентраций исследованных растворенных компонентов в воде Азовского моря.

*Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ №19-05-00770.*

#### Список литературы

1. Барцев О.Б., Никаноров А.М., Гарькуша Д.Н., Зубков Е.А. Оценка воздействия подземных вод на урбанизированных территориях на качество воды р. Дон в нижнем течении // Метеорология и гидрология. 2016. № 7. С. 82-92.
2. Вивенцова Е.А. Методика оценки подземного стока в Финский залив // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География. 2003. № 4. С. 107-111.
3. Зверев В.П. Массопотоки подземной гидросферы / Отв. ред. В.И. Осипов. Москва: Наука, 1999. 97 с.
4. Зекцер И.С., Джамалов Р.Г. Подземные воды в водном балансе крупных регионов. Москва: Наука, 1989. 124 с.
5. Зубков Е.А., Гарькуша Д.Н., Барцев О.Б., Никаноров А.М. Грунтовые воды юга Ростовской области и их влияние на подтопление территорий населенных пунктов. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2019. 197 с.
6. Качество поверхностных вод Российской Федерации. Ежегодник. 2011-2014 год / Под ред. А.М. Никанорова. Ростов-на-Дону: ФГБУ "Гидрохимический институт", 2012-2015.
7. Лобанская Н.П. Грунтовый сток на территории Европейской части СССР. // Информационные материалы. Акад. строительства и архитектуры СССР. Всесоюз. науч.-исслед. ин-т водоснабжения, канализации, гидротехн. сооружений и инж. гидрогеологии. Москва: ВОДГЕО, 1959. 52 с.
8. Матишов Г.Г., Гаргопа Ю.М., Бердников С.В., Дженюк С.Л. Закономерности экосистемных процессов в Азовском море. Южн. науч. центр РАН. Москва: Наука, 2006. 304 с.
9. Никаноров А.М. Гидрохимия. Ростов-на-Дону: Из-во НОК. 2008. 461 с.
10. Никаноров А.М., Гарькуша Д.Н., Зубков Е.А., Барцев О.Б., Минина Л.И. Гидрохимический режим и качество грунтовых вод застроенных территорий юга Ростовской области // Водные ресурсы. 2018. Т. 45. № 2. С. 171-178.
11. Федоров Ю.А., Доценко И.В., Дмитрик Л.Ю. Железо в поверхностных и подземных водах бассейна Азовского моря // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2016. № 3. С. 91-99.
12. Шестаков В.М. Гидрогеодинамика. Москва: Изд-во МГУ, 1995. 368 с.
13. Шнюков Е.Ф. Геология Азовского моря. Киев: Наукова думка, 1974. 246 с.

14. Katz B. G., DeHan R. S., Hirten J.J., Catches J.S. Interactions between groundwater and surface water in the Suwannee river basin, Florida. Journal of the American water resources association. 1997. Vol. 33, № 6. P. 1237-1254.

# ДЕГРАДАЦИЯ ОЛЕДЕНЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА С КОНЦА XIX ВЕКА И ХАРАКТЕРИСТИКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕЧНЫХ ВОД ЛЕДНИКОВОГО ПИТАНИЯ

А.М. Керимов, О.А. Курашева  
*Высокогорный геофизический институт,  
Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия;  
e-mail: kerimov.a.m@mail.ru; oks.anchik@mail.ru*

Для горных районов с современным оледенением снеговой и ледниковый сток составляют значительную долю водного баланса горных рек. Для рек Большого Кавказа снеговой и ледниковый сток составляет 40 % и более [8]. В понятие ледникового стока включается весь сток от таяния снега и льда на ледниках, т.е. сток от таяния сезонного снежного покрова в областях абляции и аккумуляции и сток от таяния многолетнего льда в области абляции, жидких осадков на языках ледников, таяние льда под моренным чехлом и от подледникового таяния. За начало ледникового стока принимается дата начала снеготаяния на языке ледника. За окончание ледникового стока принимается дата перехода через  $0^{\circ}$  С в сторону отрицательных температур на высоте конца языка ледника. Ледниковая составляющая стока оценивается по данным об атмосферных осадках в гляциальной зоне в зависимости таяния снега и льда от суммы положительных температур воздуха [6]. Как отмечено выше основная доля снегового и ледникового стока из гляциальной зоны, соответствует теплomu периоду года, когда наибольшая потребность в пресной воде для отраслей экономики. Но, следует отметить, что ледники подвержены колебаниям. Колебания связаны с массообменом ледника с окружающей средой, т.е. процессами питания и расхода вещества ледника и его режима. Скорость процессов массообмена и значения отдельных характеристик, определяющих, режим ледников непрерывно меняется во времени, вследствие чего изменяются и пространственные размеры ледников, т.е. длина, ширина, толщина и т.д. В таблице 1 приводятся изменения ледников Большого Кавказа с конца 19 столетия и до 30-х годов текущего столетия.

Как видно из таблицы 1, идет интенсивная деградация оледенения за рассматриваемый период.

Более подробно рассмотрим деградацию оледенения Большого Кавказа на примере 2-х самых крупных узлов оледенения – Эльбрусского и Безенгийского. Ледники Эльбруса с 1957 по 2015 гг. потеряли 14 % своей площади. В 1957 г. площадь оледенения Эльбруса составляло 134,2 км<sup>2</sup>, площадь оледенения в 2015 г составило 108,8 км<sup>2</sup>. На рубеже столетий существенно изменилось балансовое состояние ледников Эльбруса. В настоящее время запасы льда и многолетних фирнов накопленные во 2-ой половине XX века тают с небывалой скоростью [11].

Таблица 1 – Уменьшение площади оледенения северного склона Большого Кавказа за период с 1895 по 2030 гг. [7]

Период, годы	Число лет	Площадь оледенения		Уменьшение площади оледенения	
		На начало периода, км <sup>2</sup>	На конец периода, км <sup>2</sup>	Общее уменьшение, км <sup>2</sup>	Скорость уменьш. км <sup>2</sup> /год
1895-2011	116	1614	765	849	7,3
1895-1970	75	1614	976,0	638	8,5
1970-2011	41	976	765	211	5,2
2011-2030	19	765	615	150	7,9

Граница питания на эталонном леднике Эльбруса (Гарабаши) поднялось на 200 м и составляет 4050 м, (в левой части ледника она находится в среднем на высоте 3900 м, а в правой поднимается до 4300 м)

Реакцию оледенения Безенгийского узла оледенения на потепление климата рассмотрим на примере сложно-долинных ледников Безенги и Мижирги. Сложный долинный ледник Безенги является крупнейшим ледником Кавказа. Площадь его примерно 36 км<sup>2</sup> и длина около 17 км. Площадь сложно-долинного ледника Мижирги - 9,9 км<sup>2</sup>, а длина 8,8 км. По данным [1] с 1998 г. по 2003 г. ледник Безенги отступил значительно, среднее отступление фронта 91 м, с ежегодной скоростью отступления 18,2 м. В 2011-2013 гг. авторами проведены тахеометрические съемки языковых частей ледников Безенги и Мижирги [5]. Скорость отступления Безенги за указанный период составил 8-10 м год, в некоторых частях языка достигая до 30 м. Ледник Мижирги более стабилен и отступает со скоростью 4-6 м в год [5]. По данным дистанционного зондирования ледник Безенги за период 1957-2017 гг. отступил на 938-943 м, т.е. в среднем за год 15,6 м. Реакции на потепление климата в конце XX в. самого крупного ледника Кавказа – Безенги и ледника Эльбруса-Гарабаши совпадают. Начавшиеся усиления таяния ледника Гарабаши в 2010-2017 гг. совпадает с увеличением скорости отступления ледника Безенги. Этот факт подтверждает одинаковую реакцию всей ледниковой системы Кавказа на потепление климата.

По оценке экспертов [7] при такой скорости деградации оледенения северного склона Большого Кавказа дефицит ледникового стока в водном балансе региона может составить от 15 % до 30 %. Если учесть, что наибольшая потребность в пресной воде и максимальный ледниковой сток совпадают по времени, то становится ясным появление напряженности в водопотреблении региона. В связи с этим назрела проблема искусственного регулирования ледникового стока. Одним из методов регулирования ледникового стока является искусственное намораживание льда и их консервация для

последующего регулирования стока. Для регулирования стока можно так же использовать лавинные отложения, но, по нашему мнению, наиболее эффективным способом водосбережения является регулирование снегового и ледникового стока путем создания каскада сообщающихся водохранилищ, в которых уровень воды можно регулировать.

Но, кроме дефицита пресной воды существует и другая проблема: ее качество. Систематические исследования химического состава ледников Центрального Кавказа проводятся нами с конца 70-х годов прошлого столетия. В этих работах основное внимание уделялось содержанию тяжелых металлов - приоритетных загрязнителей окружающей среды Cd, V, Pb, Cr, Ni, Sn и т.д. в ледниках [2].

В работе [2] представлены результаты анализа проб на содержание тяжелых металлов (ТМ) в леднике северного склона Эльбруса – Уллукол. Проведен отбор проб на абсолютной высоте 4600 м и охвачен период 1956 по 1978 гг.

Рассматриваемый период соответствует бурному росту металлоемких отраслей промышленности. В этой работе впервые выявлено сезонное изменение концентрации ТМ для ледников умеренных широт. В таблице 2 представлены экстремальные, среднегодовые и сезонные концентрации ТМ, а также фоновые значения примесей в осадках Северного Кавказа.

Таблица 2 – Экстремальные, средние годовые и сезонные концентрации (X мкг/л) микроэлементов в леднике Уллукол и фоновое содержание их в высокогорье Северного Кавказа

Элемент	X макс	Xмин	X	X лето	X зима	X фон
Серебро	2,14	0,0049	0,271	0,407	0,125	0,025
Кадмий	3,91	0,50	1,23	1,15	1,29	1,2
Ванадий	0,83	0,38	0,53	0,55	0,49	0,80
Олово	1,05	0,40	0,58	0,57	0,59	-
Никель	16,99	3,56	8,83	9,29	8,34	3,99
Хром	36,22	2,50	18,12	21,31	14,72	4,26
Свинец	26,69	0,85	5,59	7,27	3,77	6,8
Марганец	83,64	3,81	18,68	26,22	10,63	40,52

Из приведенных в таблице 2 ТМ максимальные значения Ni, Cr и особенно Mn выделяются содержанием, превышающим ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения [12]. Высокое содержание Mn в пробах отмечается и в работе [13]. Обогащенность Mn проб объясняется тем, что этот элемент и его соединения относятся к породообразующим минералам для Эльбрусского вулканического центра (ЭВЦ).

С 1999 по 2010 гг. проводились массбалансовые и геохимические исследования на южном склоне Эльбруса на эталонном леднике Гарабаши.

Пробы снега на содержание ТМ отбирались на леднике из шурфов к моменту максимального снегонакопления (середина июня) и к концу абляции

на абсолютной высоте 4000 м (середина сентября). В это время производился и отбор проб речных вод долины реки Баксан от его истоков до выхода на равнину – на протяжении 100 км. В работе [3] проведен сравнительный анализ концентрации ТМ в реках ледникового питания – Гарабаши, Азау и Терскол, являющихся истоком реки Баксан и в зоне аккумуляции ледника Гарабаши. Сравнение результатов работ [2, 3] выявило, что в леднике Уллукол концентрации ТМ значительно больше чем в леднике Гарабаши и упомянутых выше речных водах, формирующих исток реки Баксан. Это свидетельствует о том, что атмосфера и осадкообразующие воздушные массы, формировавшие химический состав ледника, были более загрязнены. Этот результат подтверждает, что ледники умеренных широт также могут служить индикаторами загрязненности окружающей природной среды, при условии отсутствия стока из слоя сезонного накопления снежной толщи.

Ледники бассейна реки Черек - Безенгийский достаточно хорошо изучены в масс-балансовом отношении [10, 9, 8]. Геохимические исследования в этом районе проводились гораздо реже.

В конце июля 2003 г. автором были взяты пробы различной категории (лед, талые воды на поверхности ледника) на леднике Безенги. Как и в Эльбрусских пробах, большим содержанием выделяется цинк. Встречаются пробы льда с концентрацией цинка в 600 мкг/л, а талая вода с поверхности ледника с содержанием в 5000 мкг/л. Таких концентраций цинка ни в ледниках Эльбруса, ни в речных водах ледникового питания Приэльбрусья не обнаружено.

С 2009 по 2012 г. производился отбор проб льда и талых вод с языковых частей ледников Безенги и Мижирги. Сравнение концентрации ТМ с языковых частей ледников Гарабаши, Мижирги и Безенги показывает, что Cr, Ni, Pb почти на порядок больше содержатся в ледниках Черекского ущелья. Mn и Zn в некоторых пробах одного порядка, но в основном в Безенги и Мижирги и их содержание в 1,5-2 раза превышает их концентрации в леднике Гарабаши [4].

Такое высокое содержание указанных ТМ по мнению авторов - влияние горных пород района, где находятся эти ледники. Достаточно вспомнить, что основное питание этих ледников - лавинное и висячие ледники, при падении которых вместе со снегом и льдом на поверхность ледника попадает большое количество пород со склонов. А пробы отбирались в июле-августе, когда абляция ледников была максимальной на этих ледниках и химический состав отложившихся осадков многократно трансформируется. По геохимическим материалам, полученных на этих ледниках невозможно сделать вывод о степени загрязненности окружающей среды прошлого. Для оценки загрязненности окружающей среды в настоящем и прошлом по содержанию ТМ, необходимо выбирать наименее загрязненные ледники и отбирать пробы выше границы питания ледников, по методике, приведенной в работах [2, 4].

И завершая характеристику химического состава ледников Безенги и Мижирги, отметим, что содержание Mn и Zn на расстоянии 5-7 км от языков этих ледников в реке Черек – Безенгийский существенно не превышают ПДК.

Вероятно взвеси, содержащие в талых водах эти ТМ выпадают в осадок, а также идет разбавление ледниковых вод подземными и родниковыми водами.

Следует обратить внимание на то, что все рассуждения о ПДК касаются для вод водоемов рыбохозяйственного значения [12].

#### Выводы:

1. Содержание и изменение всех рассматриваемых ТМ носят индивидуальный характер, и как правило содержатся в количествах менее ПДК для вод водных объектов рыбохозяйственного значения. Только Mn и Zn содержатся в количествах превышающих ПДК и максимальные значения Ni и Cr в нескольких пробах.

2. Концентрации ТМ в речных водах ледникового питания на один-два порядка ниже ПДК для вод водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового значения.

3. Все речные воды в предгорной и равнинной зонах Кавказа сильно загрязнены (до 10 - 30 ПДК) некоторыми ТМ и требуется жесткий контроль сброса сточных вод.

#### Список литературы

1. Ефремов Ю.В., Панов В.Д., Лурье П.М., Ильичев Ю.Г., Панова С.В., Лутков Д.А. Орография, оледенение, климат Большого Кавказа: опыт комплексной характеристики и взаимосвязи. Краснодар: ООО «Просвещение-Юг», 2007. 337с.

2. Керимов А.М., Воробьева Т.И. Содержание тяжелых металлов в ледниках Центрального Кавказа (Адырсу, Уллукол) и Центрального Памира (Памирское фирновое плато) // Труды ВГИ. 1988. №73. С. 76-92.

3. Керимов А.М., Курашева О.А. Сравнительный анализ концентраций тяжелых металлов в истоках реки Баксан и леднике Гарабаши (южный склон Эльбруса) // Известия ДГПУ. 2018. Т.12. №1. С.49-56.

4. Керимов А.М., Рототаева О.В., Хмелевской И.Ф. Распределение тяжелых металлов в поверхностных слоях снежно- фирновой толщи на южном склоне Эльбруса // Лед и снег. 2011. №2 (114). С. 24-34.

5. Керимов А.М., Хутуев А.М. Динамика языковых частей долинных ледников Безенги и Мижирги с конца XX в. // Известия КБНЦ РАН. 2014. №4 (60). С. 29-36.

6. Кренке А.Н., Ходаков В.Г. О связи поверхностного таяния ледников с температурой воздуха // МГИ. 1966. Вып. 12. С.153-164.

7. Лурье П.М., Панов В.Д. Изменение современного оледенения северного склона Большого Кавказа в XX в и прогноз его деградации в XXI в. // Метеорология и гидрология. 2014. №4. С. 68-76.

8. Панов В.Д. Эволюция современного оледенения Кавказа. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1993. 431 с.

9. Панов В.Д. Режим и эволюция современного оледенения бассейна р. Черек- Безенгийский. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 135с.

10. Псарева Т.В., Цыкин В.Н., Цыкина Г.А. Экспериментальная 150-метровая скважина на леднике Безенги // МГИ. 1968. Вып. 14. С.93-97.

11. Рототаева О.В., Носенко Г.А., Керимов А.М., Кутузов С.С., Лаврентьев И.И., Никитин С.А., Керимов А.А., Тарасова Л.Н. Изменения баланса массы ледника Гарабаши (Эльбрус) на рубеже XX- XXI вв. // Лед и снег. 2019. Т. 59. №1, С. 5-22.

12. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов рыбохозяйственного значения (Приказ Росрыболовства от 18.01.2010 № 20 и СанПиН 2.1.5.980-00) // [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.geofaq.ru/pbylevels.php?level=5> дата обращения: 12.02.2018 г.].

13. Новейший и современный вулканизм на территории России / Отв. ред. Н. П. Лаверов. М.: Наука, 2005. 604 с.



## ИЗМЕНЕНИЯ ИОННОГО СОСТАВА ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В МАЛОВОДНЫЙ ПЕРИОД

А.В. Клещенко<sup>1)</sup>, А.М. Коршун<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> *Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук, Ростов-на-Дону, kle-aleksej@yandex.ru*

<sup>2)</sup> *Северо-Кавказский филиал МТУСИ, Ростов-на-Дону, a\_korshyn@mail.ru*

Формирование гидрохимического режима Цимлянского водохранилища зависит от физико-географических условий водосбора, морфометрических характеристик водохранилища, поступления вод с боковыми притоками, внутриводоемных процессов в самом водохранилище и т.д. Основными факторами формирования гидрохимического режима водохранилища являются химический состав поступающей воды с речным стоком и процессы смешения их с водами, аккумулярованными в водохранилище. В водном питании водохранилища главную роль играет сток р. Дона (90-93 %) и незначительную (6,6 %) – сток боковых притоков [1]. В гидрохимическом отношении вода р. Дона отличается от воды притоков, впадающих в водохранилище, так как формирование их происходит в различных почвенно-климатических условиях.

Основным источником питания рек бассейна Дона является преимущественно поверхностный сток. Большинство вод поверхностного стока по классификации О.А. Алекина относится к гидрокарбонатному классу, группе кальция, второму типу с минерализацией до 0,5-0,6 г/л. В юго-восточной части бассейна Дона почвенно-поверхностные воды солончаковых почв и солончаков более минерализованы (до 3 г/л) и имеют сульфатный, хлоридный или смешанный состав. Заметное влияние на химический состав и минерализацию вод оказывает размыв нижних горизонтов почв засоленных террас и днищ балок.

П.П. Воронковым было выделено четыре генетических категории природных вод [2]: поверхностно-склоновые, образующиеся при стекании атмосферных вод в водоемы и водотоки по поверхности склонов водосборов; почвенно-поверхностные воды, образующиеся при стекании атмосферных вод в водотоки и водоемы по более или менее значительно выраженным дренам, способствующим примешиванию к поверхностно-склоновым водам вод из почвенных слоев; почвенно-грунтовые воды, стекающие из толщи почво-грунтов, стекание их носит временный характер; грунтовые воды, постоянно стекающие в водоемы из водоносных горизонтов, расположенных в толще грунтов.

Главным фактором формирования ионного состава Цимлянского водохранилища является соотношение долей каждой из вышеперечисленных генетических категорий в поступающем жидком стоке Дона в створе Калача-на-Дону.

Как правило, в период весеннего половодья реки бассейна Дона питаются главным образом почвенно-поверхностными водами или в отдельных

ситуациях со значительной долей поверхностно-склоновых вод, как было весной 2018 года, когда в бассейне Дона сформировалась прочная ледяная корка на поверхности почвы. Роль почвенно-грунтовых и грунтовых вод в период весеннего половодья гораздо меньше, чем в остальную часть года.

В период летне-осенней и зимней межени минерализация и химический состав речных вод значительно изменяются, так как их питание осуществляется преимущественно за счет грунтовых вод. Запасы грунтовых вод пополняются главным образом инфильтрационными водами, накапливающими все те химические соединения, которые могут быть растворены по пути следования этих вод в толще почв и пород.

Однако в связи с климатическими изменениями в бассейне Дона доля меженного и половодного стока, начиная с 70-х годов XX века претерпела определенные изменения.

Многолетние долговременные фазы изменения речного стока приурочены к соответствующим фазам изменения температуры воздуха и атмосферных осадков. В последнее десятилетие в бассейне Дона происходит потепление зимнего периода (рост средних зимних температур), наиболее ярко проявившееся зимой 2019-2020 года, и увеличение суммы осадков за холодный сезон. Причина изменений водного режима - изменение глобальной циркуляции атмосферы, увеличение числа оттепелей и снижение глубины промерзания почвы, что способствует пополнению запасов грунтовых вод в зимний период и росту подземного питания рек в межень.

Как правило, в качестве характеристик меженного стока рек в бассейне Дона за зимний и летний периоды принимаются осредненные значения за декабрь-февраль и июль-сентябрь. В соответствии с принятыми подходами минимальные месячные значения расходов воды рассчитываются отдельно за летне-осеннюю и зимнюю межени, т.е. характеризуют типично маловодные периоды в режиме стока, отражающее значение водных ресурсов в наиболее критические лимитирующие месяцы [3].

В связи с генетической природой естественных ресурсов условия их формирования непосредственно зависят от возможных климатических изменений и проявляются в динамике годовых и сезонных величин ресурсов.

Согласно опубликованным данным [3], в последние 40 лет за лимитирующие месяцы зимнего и летне-осеннего периода происходит интенсивное и статистически достоверное увеличение минимальных ресурсов подземных вод, не имеющее аналогов за историю гидрологических наблюдений. Область наибольших изменений характеристик минимальных ресурсов подземных вод сосредоточена в средней части бассейна Дона широкой полосой, протянувшейся с юго-запада на северо-восток, четко связанной с границей отсутствия постоянного снежного покрова.

Такое увеличение доли подземного стока, происходило на фоне сокращения слоя стока за половодье на 30-40 %, а модуля стока на 40-60 % [4]. Сокращение стока слоя за половодья и фактическое отсутствие дружного весеннего половодья привело к тому, что реки бассейна Дона, относящиеся до второй половины 1970-х гг. по источникам питания и внутригодовому

распределению стока к категории рек с преимущественно снеговым питанием, в конце XX-начале XXI века стали относиться к рекам со смешанным питанием или даже смешанным с преобладанием грунтового [5].

Все вышеописанное нашло отражение в характеристиках минерализации воды и ионного состава р. Дон и Цимлянского водохранилища. При анализе материалов экспедиционных работ ЮНЦ РАН за период 2007-2019 гг. и фондовых данных были установлены основные закономерности изменения минерализации и ионного состава вод р. Дон, поступающих в Цимлянское водохранилище, собственно Цимлянского водохранилища и нижележащего участка Дона.

Межгодовая изменчивость вод Цимлянского водохранилища зависит главным образом от поступления вод весеннего половодья. При рассмотрении соотношения среднегодовой концентрации сульфатов в воде, характеризующих почвенно-грунтовой генезис вод, в створе г. Калача–на-Дону, Чирском плесе, Потемкинском плесе, Приплотинном плесе и в нижнем бьефе Цимлянского гидроузла прослеживается четкая зависимость понижения концентрации сульфатов при увеличении стока весеннего половодья (выраженного в виде процентов от нормы стока весеннего половодья, составляющем для Цимлянского водохранилища 11 куб. км) (рисунок 1).

Похожим образом прослеживается изменение содержания в воде Цимлянского водохранилища среднегодовой минерализации и хлоридов.

При этом если рассматривать изменчивость этих параметров по широте при движении от Калача-на-Дону к Волгодонску в разрезе групп лет, характеризующихся различной обеспеченностью притока вод весеннего половодья, то обнаруживается эффект разбавления (рисунок 2). Из чего можно сделать вывод, что для выравнивания минерализации и ионного состава вод Цимлянского водохранилища требуется время больше года, сопоставимое со временем полного водообмена водохранилища.

Таким образом, установлено, что увеличение приточности воды во время весеннего половодья способствует понижению общей минерализации воды Цимлянского водохранилища и отдельных компонентов ионного состава, связанных с грунтовым питанием, таких как сульфат-ион. В тоже время, увеличение меженного стока, напротив, способствует увеличению минерализации воды. В условиях продолжающейся череды маловодных лет стоит ожидать дальнейшее увеличение минерализации воды Цимлянского водохранилища с достижением неблагоприятных значений на нижележащих участка долины Дона.

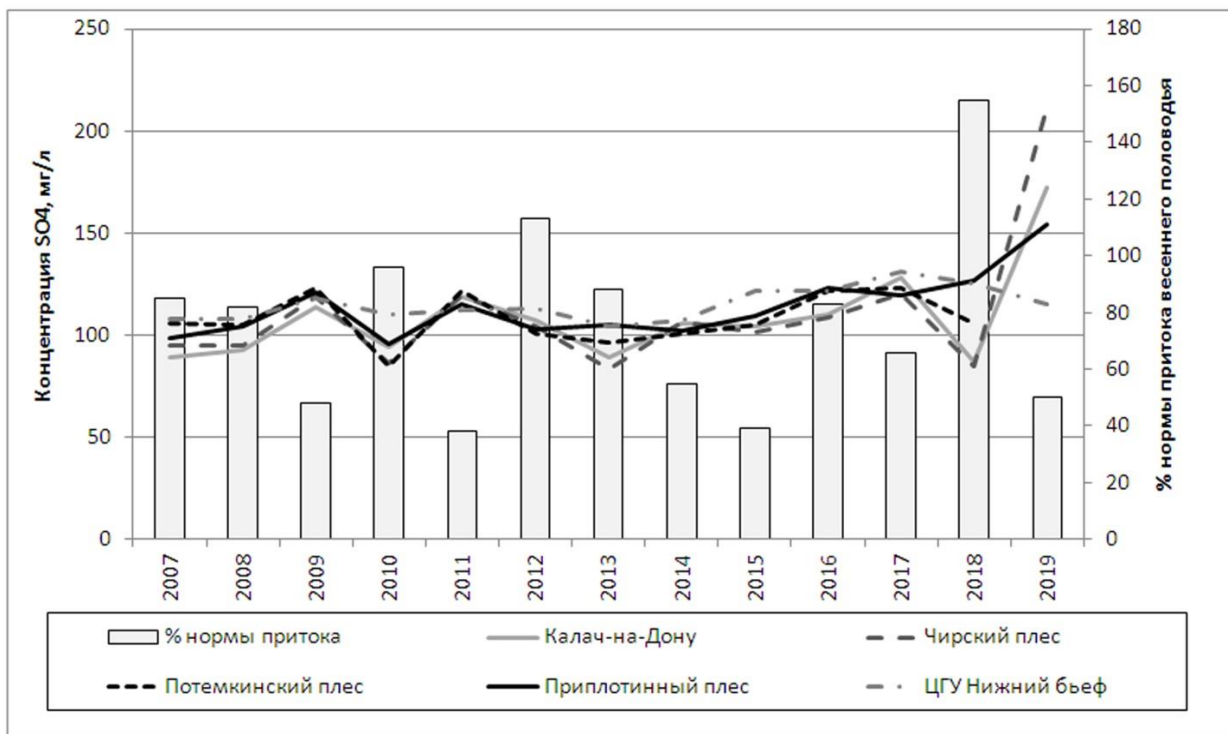


Рисунок 1 – Межгодовая изменчивость концентрации сульфатов в воде Цимлянского водохранилища в зависимости от приточности весеннего половодья

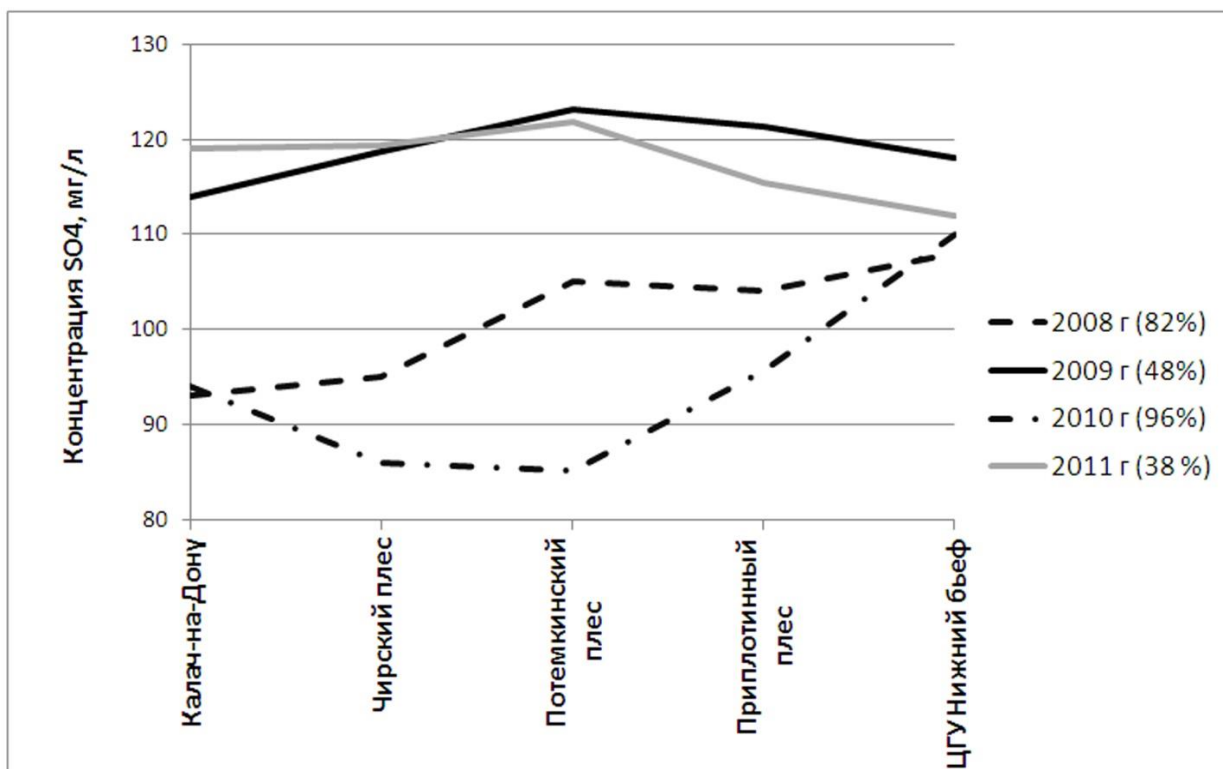


Рисунок 2 – Изменение концентрации сульфатов при движении вдоль продольной оси водохранилища в 2008-2011 гг. (в скобках обозначен % нормы притока за половодье)

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и РГО в рамках научного проекта № 17-05-41145 РГО\_а «Изучение трансформации среды и

*биоты Цимлянского водохранилища и Нижнего Дона в условиях изменения климата»*

#### Список литературы

1. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Цимлянское, Водораздельные и Манычские водохранилища. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1977. 204 с.
2. Воронков П.П. Формирование химического состава поверхностных вод степной и лесостепной зон Европейской территории СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1955. 352 с.
3. Джамалов Р.Г., Киреева М.Б., Косолапов А.Е., Фролова Н.Л. Водные ресурсы бассейна Дона и их экологическое состояние. М.: ГЕОС, 2017. 205 с.
4. Джамалов Р. Г., Фролова Н. Л., Киреева М. Б. Современные изменения водного режима бассейна Дона // Водные ресурсы. 2013. Т.40. №6. С.544-556.
5. Джамалов Р. Г., Фролова Н. Л., Кричевец Г. Н., Сафронова Т. И., Киреева М. Б., Игонина М. И. Формирование современных ресурсов поверхностных и подземных вод Европейской части России // Водные ресурсы. 2012. Т.39. № 6. С.571-589.

# СТОК РАСТВОРЕННЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ РЕК ЗАПАДНО- И ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЙ ЧАСТЕЙ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ: ПРОСТРАНСТВЕННАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ И ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ МНОГОЛЕТНЕЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ

М.Ю. Кондакова<sup>1)</sup>, А.О. Даниленко<sup>1)</sup>, О.С. Решетняк<sup>1), 2)</sup>, Л.С. Косменко<sup>1)</sup>,  
А.А. Коваленко<sup>1), 2)</sup>

<sup>1)</sup>*Гидрохимический институт, Ростов-на-Дону, info@gidrohim.com*

<sup>2)</sup>*Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, osreshetnyak@sfsu.ru*

Изменчивость химического стока отражает естественные и антропогенные механизмы формирования стока воды и содержания химических веществ водных объектов. Изучение межгодовой изменчивости химического стока дает интегральное представление о роли хозяйственной деятельности в изменении потребительских свойств водных ресурсов территории. Это единственный объективный путь для определения сезонной интенсивности диффузных источников химических веществ, что весьма актуально для арктического района с повышенной уязвимостью наземных и водных экосистем при интенсивном хозяйственном освоении территории [1].

Результаты расчета и анализа среднегодовых объемов стока растворенных химических веществ для рек Западно- и Восточно-Сибирской частей Арктики показали их высокую пространственную неоднородность, обусловленную не только заметной разницей объемов водного стока исследуемых рек, но и уровнем хозяйственного освоения их водосборных территорий и антропогенного воздействия на них.

На территории Западно-Сибирской части Арктики наибольшие величины стока растворенных химических веществ характерны для рр. Обь и Енисей, поскольку и значения водного стока для них максимальны, а наименьшие – для р. Надым, т.к. водный сток его минимален. Для рек Восточно-Сибирской части Арктики наибольшие величины объемов стока характерны для рек Лена и Колыма, а наименьшие – для р. Индигирка.

Значительная разница в объемах водного стока обуславливает и широкий диапазон значений стока главных ионов (таблица 1).

При рассмотрении особенностей ионного стока рек Западной Сибири, можно отметить, что объемы стока хлоридов и сульфатов ранжируются согласно объемам водного стока, а для гидрокарбонатов, ионов кальция и магния - такой порядок ранжирования нарушается. Водный сток реки Пур почти в полтора раза больше, чем у р. Таз, однако среднегодовые данные по объемам стока гидрокарбонатов, ионов кальция и магния у последнего почти в два раза выше. Для рек Восточной Сибири порядок ранжирования ионного стока по значениям водного стока так же не соблюдается для большинства главных ионов, за исключением сульфатов.

Причина увеличения объемов стока главных ионов во времени для рек Западной Сибири кроется не в возрастании водности (что характерно только

для р. Надым), а в возрастающих тенденциях концентрации анионов и катионов [2].

Таблица 1 – Среднегодовое водное и ионное стока для рек Западно- и Восточно-Сибирской частей Российской Арктики

№ п/п	река	пункт	W, км <sup>3</sup>	G, тыс. тонн				
				Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
Западно-Сибирская часть Российской Арктики								
1	Обь	Салехард	425,4	3223,4	<b>6851,8*</b>	<b>36063,2</b>	<b>2576,0</b>	7632,3
2	Надым	Надым	<b>10,3</b>	<b>30,9</b>	<b>146,3</b>	<b>322,0</b>	<b>30,6</b>	<b>54,2</b>
3	Пур	Самбург	26,6	<b>94,4</b>	<b>418,2</b>	<b>735,4</b>	<b>70,6</b>	<b>123,5</b>
4	Таз	Красноселькуп	18,8	<b>65,6</b>	<b>276,1</b>	<b>1639,2</b>	<b>129,6</b>	264,3
5	Енисей	Игарка	720,1	6921,2	<u>7902,4</u>	40012,9	2876,9	11461,1
Восточно-Сибирская часть Российской Арктики								
6	Анабар	Саскылах	20,4	38,8	134,1	563,1	54,2	170,3
7	Лена	Кюсюр	<b>606,9</b>	<u>8279,7</u>	10122,9	<b>23338,3</b>	2639,3	8389,6
8	Яна	Юбилейная	<b>38,1</b>	181,9	<b>700,0</b>	<b>1543,9</b>	<b>147,1</b>	<b>512,6</b>
9	Индиگیرка	Индиگیرский	<b>20,8</b>	<b>26,2</b>	<b>192,0</b>	<b>318,4</b>	<b>46,3</b>	<b>129,1</b>
10	Колыма	Колымское	<u>63,39</u>	<u>440,4</u>	<u>722,3</u>	<u>1836,8</u>	<u>138,3</u>	<u>635,9</u>
* - шрифтом выделены статистически значимые тенденции: полужирный – возрастающие, подчеркнутый курсив - убывающие								

В большинстве случаев максимальные значения объемов стока биогенных и органических веществ на территории Западной Сибири характерны для р. Енисей, за исключением стока фосфора фосфатов, где на лидирующие позиции выходит р. Обь. Минимальные среднегодовые объемы стока отмечаются для р. Надым (таблицы 2, 3).

Таблица 2 – Среднегодовое стока биогенных соединений для рек Западно- и Восточно-Сибирской частей Российской Арктики

№ п/п	река	пункт	G, тыс. тонн			
			N(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	N(NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	N(NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	P(PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )
Западно-Сибирская часть Российской Арктики						
1	Обь	Салехард	<u>272,6*</u>	35,3	4,8	<u>30,0</u>
2	Надым	Надым	<u>7,9</u>	<u>0,4</u>	<u>0,1</u>	<u>1,4</u>
3	Пур	Самбург	<u>17,8</u>	0,8	0,3	<u>2,7</u>
4	Таз	Красноселькуп	<u>16,6</u>	<u>0,6</u>	<u>0,2</u>	<u>2,2</u>
5	Енисей	Игарка	296,7	59,4	6,2	<u>12,6</u>
Восточно-Сибирская часть Российской Арктики						
6	Анабар	Саскылах	2,0	1,6	0,2	0,3
7	Лена	Кюсюр	46,5	26,7	<b>4,2</b>	4,9
8	Яна	Юбилейная	2,1	1,3	<b>0,3</b>	<b>0,5</b>
9	Индиگیرка	Индиگیرский	<b>0,9</b>	0,6	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>
10	Колыма	Колымское	<u>5,0</u>	<u>3,3</u>	<u>0,3</u>	<u>0,8</u>
* - шрифтом выделены статистически значимые тенденции: полужирный – возрастающие, подчеркнутый курсив - убывающие						

Таблица 3 – Среднегодовое количество органических веществ для рек Западно- и Восточно-Сибирской частей Российской Арктики

№ п/п	река	пункт	G, тыс. тонн		
			ЛОВ	ОВ	НФПР
Западно-Сибирская часть Российской Арктики					
1	Обь	Салехард	731,6	<b>11099,4*</b>	<u>217,1</u>
2	Надым	Надым	26,4	<b>242,2</b>	<u>6,6</u>
3	Пур	Самбург	55,3	<b>642,0</b>	<u>12,3</u>
4	Таз	Красноселькуп	44,7	<b>489,5</b>	10,5
5	Енисей	Игарка	<u>1291,1</u>	19606,1	<u>315,4</u>
Восточно-Сибирская часть Российской Арктики					
6	Анабар	Саскылах	48,7	637,7	<u>2,7</u>
7	Лена	Кюсюр	<b>1356,2</b>	<b>11879,4</b>	<b>48,0</b>
8	Яна	Юбилейная	90,2	<b>694,2</b>	<b>2,6</b>
9	Индигоирка	Индигоирский	<b>30,3</b>	497,6	<u>1,3</u>
10	Колыма	Колымское	<u>164,3</u>	<u>991,9</u>	<u>5,8</u>
* - шрифтом выделены статистически значимые тенденции: полужирный – возрастающие, подчеркнутый курсив - убывающие					

На территории Восточно-Сибирской части Арктики по объемам стока биогенных и органических веществ лидирует р. Лена. Тогда как минимальные значения - у р. Индигоирка, что нарушает порядок ранжирования рек данного региона по среднегодовым объемам водного стока (таблицы 2, 3).

Для стока соединений металлов на территории Западной Сибири в основном прослеживается порядок ранжирования водных объектов в соответствии с значениями стока воды (таблица 4). Обратная ситуация наблюдается на территории Восточной Сибири.

Таблица 4 – Среднегодовое количество соединений металлов для Западно- и Восточно-Сибирской частей Российской Арктики

№ п/п	река	пункт	G, тыс. тонн*				
			Fe	Cu	Zn	Ni	Mn
Западно-Сибирская часть Российской Арктики							
1	Обь	Салехард	395,3	<u>2,50</u>	13,64	1,78	23,07
2	Надым	Надым	19,2	<u>0,04</u>	0,35	0,03	1,05
3	Пур	Самбург	40,4	<u>0,20</u>	0,92	<u>0,28</u>	1,85
4	Таз	Красноселькуп	25,6	<u>0,10</u>	<u>0,57</u>	<u>0,06</u>	3,04
5	Енисей	Игарка	304,4	10,98	12,39	0,58	14,56
Восточно-Сибирская часть Российской Арктики							
6	Анабар	Саскылах	5,3	0,1	0,3	–	<u>0,7</u>
7	Лена	Кюсюр	<u>288,6</u>	2,7	6,7	–	15,1
8	Яна	Юбилейная	38,8	0,2	<u>0,5</u>	–	<b>0,8</b>
9	Индигоирка	Индигоирский	<b>4,8</b>	<b>0,06</b>	<b>0,12</b>	–	–
10	Колыма	Колымское	<u>69,2</u>	<u>0,5</u>	<u>1,1</u>	–	<u>0,2</u>
* - шрифтом выделены статистически значимые тенденции: полужирный – возрастающие, подчеркнутый курсив - убывающие							

Поскольку регулярные наблюдения отсутствуют для соединений никеля всех выбранных для исследования рек Восточной Сибири и для соединений



марганца на р. Индигирка, то объемы стока по данным показателям рассчитаны не были.

Для выявления статистически значимой динамики значений водного стока и стока растворенных химических веществ за многолетний период исследований (1980-2018 гг.) использованы методы корреляционного анализа.

Выявлено, что для рек Западной Сибири отмечаются статистически достоверные тенденции увеличения объемов стока главных ионов (для всех рек кроме р. Енисей). На территории Восточной Сибири в многолетнем аспекте были выявлены тенденции к увеличению водного стока для рр. Лена, Яна и Индигирка. Но рост объемов стока главных ионов во времени отмечается только для рр. Яна и Индигирка, для р. Лена наблюдается тенденция увеличения объемов стока карбонатов и снижение стока хлоридов (таблица 1).

В динамике стока биогенных веществ установлено, что для рек Западной Сибири отмечаются статистически достоверные тенденции увеличения объемов их стока в большинстве случаев за исключением р. Енисей. Для рек Восточной Сибири выявлены убывающие тенденции по стоку соединений азота и фосфора для р. Колыма и возрастающие – для рр. Лена, Яна и Индигирка по отдельным компонентам (таблица 2).

В динамике стока органических веществ таких четких однонаправленных тенденций не выявлено. Так, например, статистически подтверждено уменьшение объемов стока нефтепродуктов для большинства рек Западной Сибири на фоне роста стока ОВ по ХПК. Для рек Восточно-Сибирской части Арктики снижение объемов стока ОВ зафиксировано только в р. Колыма, снижение стока нефтепродуктов – в рр. Анабар, Индигирка и Колыма, в то время как для рр. Лена и Яна отмечается тенденция роста объемов стока ОВ и нефтепродуктов (таблица 3).

Среднемноголетний сток соединений меди статистически достоверно снижается для отдельных рек Западной Сибири, кроме Енисея, и возрастает – по соединениям марганца. В изменчивости объемов стока соединений железа тенденций выявлено не было. Для рек Восточной Сибири, напротив, выявлены тенденции роста объемов стока железа, меди и цинка для р. Индигирка. Для р. Колыма характерно снижение объемов стока всех металлов, для остальных рек – единичные случаи трендов (таблица 4).

Таким образом, при сохраняющихся темпах изменения климата и антропогенного воздействия, ионный сток, равно как и сток органических веществ будет увеличиваться как на территории Западной, так и на территории Восточной Сибири; сток биогенных веществ будет уменьшаться на территории Западной и увеличиваться на территории Восточной Сибири; сток нефтепродуктов, соединений железа и меди будет в основном уменьшаться в обеих частях Арктики; для стока соединений цинка и марганца возможно увеличение доли стока в Западно-Сибирской части Арктики, и уменьшение - в Восточной.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-60165.*

#### Список литературы

1. Даценко Ю.С., Ефимова Л.Е., Заславская М.Б., Пахомова О.М. Ионный сток в арктические моря России // Российские полярные исследования. 2016. Т. №1 (23). С. 12-14.

2. Решетняк О.С., Даниленко А.О., Косменко Л.С., Кондакова М.Ю. Тенденции изменчивости химического состава речных вод Западно-Сибирской части арктической зоны России // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2019, № 3. С. 70-79.

# ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РЕЧНЫХ ВОД В РАЗЛИЧНЫХ ПРИРОДНЫХ ЗОНАХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ: ПРОСТРАНСТВЕННАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ И ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЧИВОСТИ

М.Ю. Кондакова<sup>1)</sup>, А.О. Даниленко<sup>1)</sup>, О.С. Решетняк<sup>1), 2)</sup>, Л.С. Косменко<sup>1)</sup>,  
А.А. Коваленко<sup>1), 2)</sup>

<sup>1)</sup>*Гидрохимический институт, Ростов-на-Дону, info@gidrohim.com*

<sup>2)</sup>*Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, osreshetnyak@sfedu.ru*

Сибирь является уникальным природно-ресурсным и промышленным регионом Российской Федерации. Одним из основных факторов, определяющих перспективы развития Сибири и ее место в российской экономике, является огромный ресурсный потенциал [5].

Активное освоение территории сопровождается интенсивным антропогенным воздействием на водоёмы и водотоки Сибири, что привело к нарушению экологического состояния водных экосистем, ухудшению качества водной среды [1, 3, 4].

Одним из важнейших показателей, характеризующих качество вод, является химический состав, согласно которому можно классифицировать воды по их минерализации, оценивать обеспеченность водных объектов питательными веществами, необходимыми для развития водной флоры и фауны, устанавливать степень загрязненности воды, выявлять источники загрязнения, определять соответствие воды требованиям конкретных водопользователей и др. [2].

Распределение химических элементов в природных водах определяется типом природной системы (геохимической среды), свойствами самих элементов и в целом подчиняется как основным геохимическим, так и географическим закономерностям смены природных зон.

Западная Сибирь представляет собой одну из крупнейших аккумулятивных низменных равнин земного шара [6]. Однообразие рельефа Западной Сибири и значительная протяженность территории от побережья Северного Ледовитого океана вглубь материка создает идеальные условия для проявления широтной зональности и ее неизбежного следствия – постепенных переходов в виде подзон [7]. Зональность представлена четкой сменой зон и подзон в направлении с севера на юг. В пределах равнины располагаются тундровая, лесотундровая, таежная (лесная, лесоболотная), лесостепная и степная зоны.

Для учета всего разнообразия природных условий формирования речных вод на территории Западной Сибири для исследования было выбрано более 100 крупных, средних и малых водотоков (151 пункт наблюдений), протекающих по территории различных природно-климатических зон (тундры и лесотундры, тайги, лесостепей и степей). Также учитывалось наличие/отсутствие антропогенного воздействия (участки рек не подверженные или слабо подверженные каким-либо точечным источникам загрязнения), местоположение (как вблизи месторождений, так и на удалении от них), учет

малых и средних рек, отражающих однородные совокупности местного стока (включающие традиционные виды хозяйственной деятельности и её интенсивность).

Для выбранных речных участков Западной Сибири, сгруппированных по природным зонам от тундры до степей, в целях выявления пространственной неоднородности химического состава речных вод региона были рассчитаны медианные концентрации (с последующим их усреднением по зонам) по главным ионам, органическим и биогенным веществам, соединениям металлов. Однородность полученных выборок по природным зонам для каждого из гидрохимических показателей оценивалась с помощью коэффициента вариации  $C_v$  %. Для выявления статистически значимых тенденций изменчивости концентраций растворенных химических веществ за многолетний период исследований использовались методы корреляционного и регрессионного анализа.

Результаты анализа пространственной изменчивости усредненных медианных значений концентраций химических веществ в речных водах различных природных зон Западной Сибири показали увеличение их неоднородности от зоны тундры и лесотундры к зоне степей (таблица 1). Исключение составляют гидрокарбонаты, растворенный кислород, кремний, фенолы и соединения никеля, вариабельность содержания которых от одной природной зоны к другой изменяется незначительно.

Таблица 1 – Пространственная неоднородность выборок значений медианных концентраций растворенных химических веществ в различных природных зонах Западной Сибири, оцененная по коэффициенту вариации ( $C_v$ , %)

Показатель	Тундра и лесотундра	Тайга				Подтайга	Лесостепь	Степь
		северная	средняя	южная	в целом			
Главные ионы								
$Mg^{2+}$	<b>28,0*</b>	<u>37,4</u>	<u>45,6</u>	<u>54,6</u>	64,3	75,9	96,1	79,9
$Ca^{2+}$	<u>56,2</u>	60,5	<u>57,8</u>	<u>40,2</u>	69,4	<b>31,8</b>	<u>50,5</u>	<u>50,7</u>
Cl <sup>-</sup>	<b>35,3</b>	<u>36,6</u>	65,4	151,4	156,4	124,9	168,6	119,6
$SO_4^{2-}$	<b>6,3</b>	<u>44,5</u>	<u>59,5</u>	<u>59,0</u>	73,2	77,5	128,3	71,0
$HCO_3^-$	<u>43,1</u>	<u>48,6</u>	<u>49,6</u>	<u>49,7</u>	71,4	<u>48,4</u>	<u>53,0</u>	60,3
Растворенный кислород и органические вещества								
O <sub>2</sub>	<b>12,6</b>	<b>12,2</b>	<b>10,1</b>	<b>13,0</b>	<b>12,7</b>	<b>10,7</b>	<b>9,5</b>	<b>6,3</b>
ОВ	<b>12,0</b>	<b>23,6</b>	<b>24,0</b>	53,7	<u>43,2</u>	<u>48,8</u>	84,9	<u>32,7</u>
ЛОВ	<b>32,7</b>	<u>38,8</u>	<u>41,7</u>	72,3	67,4	<b>33,9</b>	<u>39,9</u>	<u>36,8</u>
НФПР	<b>9,2</b>	73,0	76,8	63,7	70,1	69,7	58,2	49,3
Биогенные вещества								
N(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	<b>20,2</b>	<b>31,5</b>	<b>28,2</b>	65,7	<u>49,1</u>	60,6	90,4	<u>46,2</u>
N(NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	<b>27,3</b>	<b>21,0</b>	<b>34,0</b>	<u>44,5</u>	<u>37,1</u>	94,9	68,0	74,4
N(NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	105,2	<u>43,8</u>	68,5	142,6	179,6	74,1	120,0	61,3
P(PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	<b>32,3</b>	53,6	<u>37,5</u>	68,5	59,2	87,4	104,8	85,7
Si	<b>22,9</b>	<b>28,2</b>	<b>24,2</b>	<b>25,9</b>	<b>26,6</b>	<b>23,6</b>	<b>27,0</b>	<b>23,7</b>

Продолжение таблицы 1

Соединения металлов								
Fe общ	<b>25,9</b>	<b>35,9</b>	<u>47,0</u>	75,6	68,2	75,6	77,3	50,9
Cu	<b>26,9</b>	<u>50,0</u>	<u>37,4</u>	58,3	55,9	71,7	67,3	58,9
Zn	<u>50,0</u>	80,0	<u>48,9</u>	71,6	102,6	65,6	109,4	134,9
Ni	–	<b>32,4</b>	<b>20,4</b>	<b>9,9</b>	<b>21,3</b>	<u>37,3</u>	<b>19,4</b>	<b>17,4</b>
Mn	<u>47,7</u>	<b>31,0</b>	<u>50,1</u>	158,1	92,6	98,2	151,4	139,6

\* – шрифтом выделены градации однородности выборок в зависимости от значений с.в.: **полужирный** - абсолютно однородные и однородные выборки; курсив подчеркнутый – недостаточно однородные и неоднородные выборки; абсолютно неоднородные выборки шрифтом не выделялись

Для соединений магния, кальция, хлоридов, сульфатов, гидрокарбонатов растворенного кислорода, азота нитритного и нитратного в направлении с севера на юг выявлено увеличение их концентраций, тогда как для ТОВ, нефтепродуктов азота аммонийного, кремния, фосфора фосфатного и соединений металлов (кроме никеля) – снижение (таблица 2). Можно заключить, что для указанных выше химических веществ их содержание в речных водах подчиняется общим закономерностям широтной зональности. Для ЛОВ, фенолов и соединений никеля каких-либо закономерностей в изменчивости усредненных медианных концентраций не выявлено.

Таблица 2 – Пространственная изменчивость усредненных медианных значений концентраций растворенных химических веществ в речных водах различных природных зон Западной Сибири

Показатель	Тундра и лесотундра	Тайга				Подтайга	Лесостепь	Степь
		северная	средняя	южная	в целом			
Главные ионы								
Mg <sup>2+</sup>	3,8	3,8	4,8	8,6	6,51	15,6	17,2	9,4
Ca <sup>2+</sup>	7,8	7,5	14,0	32,3	21,70	42,4	42,5	33,1
Cl <sup>-</sup>	4,7	3,8	5,1	10,5	7,50	27,6	39,9	6,1
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	13,6	8,9	10,0	21,6	15,62	31,8	47,9	19,1
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	43,1	41,0	59,5	135,6	93,57	199,0	204,1	150,7
Растворенный кислород и органические вещества								
O <sub>2</sub>	7,86	8,74	8,47	9,30	8,96	8,78	9,99	10,06
ОВ	20,91	27,08	33,84	32,87	31,68	34,48	21,01	11,96
ЛОВ	2,24	1,91	1,62	2,61	2,18	2,65	2,14	1,94
НФПР	0,36	0,22	0,14	0,19	0,19	0,20	0,19	0,18
Биогенные вещества								
N(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	0,60	0,56	0,56	0,49	0,53	0,49	0,28	0,16
N(NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,010	0,010	0,007
N(NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0,02	0,02	0,04	0,15	0,09	0,14	0,36	0,36
P(PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	0,077	0,072	0,054	0,056	0,059	0,110	0,048	0,021
Si	4,51	4,50	4,55	3,97	4,24	3,69	3,33	3,67
Соединения металлов								
Fe общ	1,39	1,19	1,16	0,45	0,81	0,37	0,13	0,10
Cu	2,35	4,06	4,85	2,55	3,52	2,92	1,64	1,21
Zn	28,76	25,77	15,05	5,59	14,52	6,05	2,57	7,19
Ni	3,00	3,34	2,79	3,06	3,05	2,94	3,13	2,88
Mn	53,97	55,80	35,04	25,47	35,60	31,89	9,49	1,83

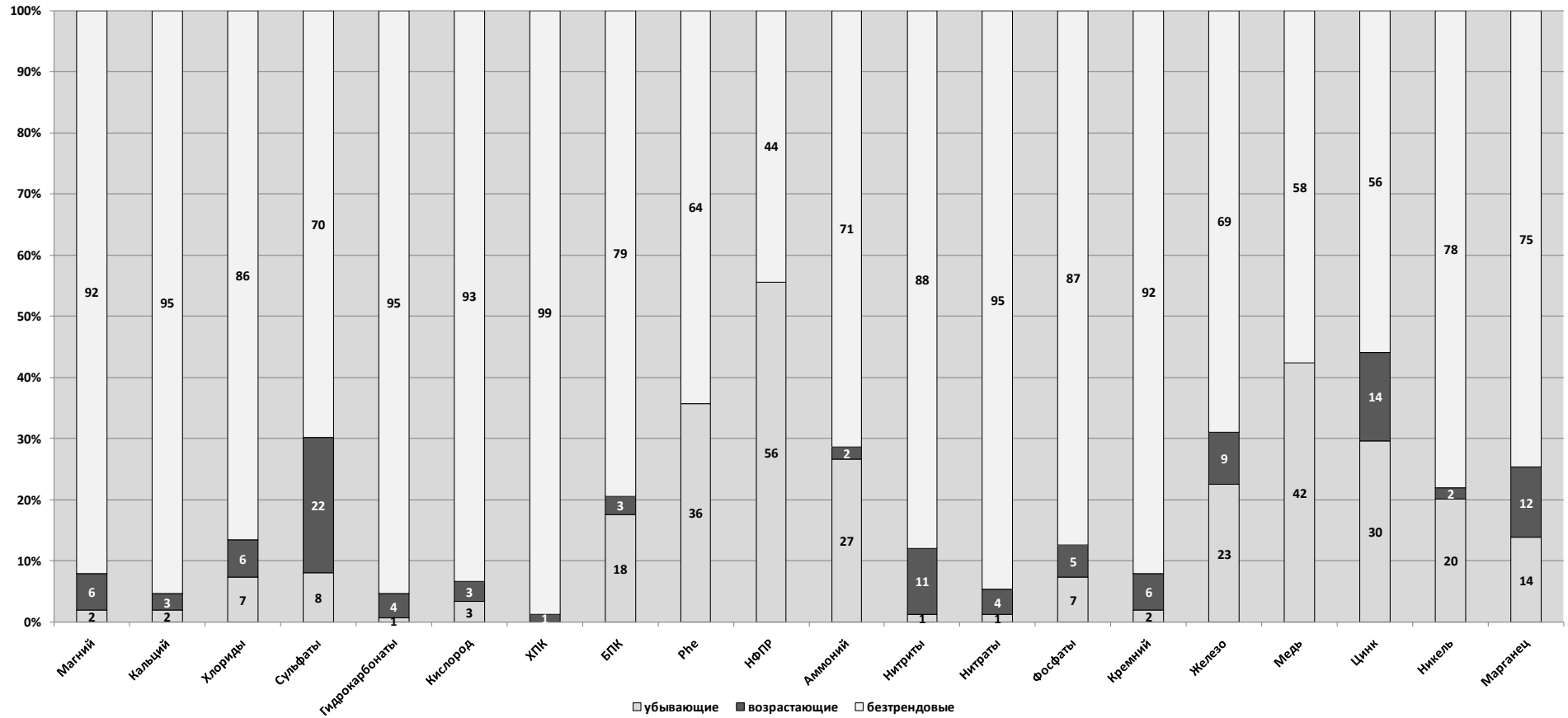


Рисунок – Распределение тенденций изменчивости содержания химических веществ в речных водах Западной Сибири

Результаты анализа временной изменчивости концентраций химических веществ в речных водах Западной Сибири показали преобладание безтрендовых выборок в более, чем половине случаев (рисунок). Из числа статистически обнаруженных трендов отмечается преобладание возрастающих тенденций значений концентраций химических веществ над убывающими для главных ионов и биогенных веществ. В целом на территории Западной Сибири отмечается увеличение содержания в речных водах данных веществ. Обратная картина отмечается для органических веществ и соединений металлов, причем для фенолов, нефтепродуктов и соединений меди возрастающих тенденций выявлено не было. Доля водных объектов или их участков, для которых характерны убывающие тенденции значений концентраций отдельных химических веществ меняется от 1 % (гидрокарбонаты, азот нитратный) до 56 % (нефтепродукты), а возрастающие – от отсутствия водных объектов с такой тенденцией до 22 % (сульфаты).

#### Список литературы

1. Кондакова М.Ю. Многолетняя изменчивость степени загрязненности речных вод и состояния водных экосистем на территории Западной Сибири в современных условиях антропогенного воздействия // Материалы научной конференции с международным участием «Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод». Часть 2. Ростов-на-Дону, 8-10 сентября 2015 г. Ростов-на-Дону, 2015. С. 242-247.
2. Никаноров А.М. Гидрохимия: учебник. Ростов-на-Дону: «НОК», 2008. 461 с.
3. Никаноров А.М., Брызгалов В.А., Косменко Л.С., Даниленко А.О. Реки материковой части Российской Арктики. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2016. 276 с.
4. Решетняк О.С., Брызгалов В.А., Косменко Л.С. Региональные особенности высокого уровня загрязненности рек Обь-Иртышского бассейна // Вода: химия и экология, № 6. 2013. С. 3-9.
5. Сайт Сибирского Отделения Российской академии наук / Стратегия развития Сибири. Режим доступа: [http://www.sbras.ru/win/sbras/bef/ras\\_765.html](http://www.sbras.ru/win/sbras/bef/ras_765.html)
6. Смирнова А. Ю. Геоэкологические условия и антропогенная нагрузка на территорию и водные ресурсы на примере Нижнелугинского месторождения Томской области [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2013/C11/V1/292.pdf>
7. Сочава В.Б. Географические аспекты сибирской тайги. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1980. 256 с.

## ПЕРВИЧНОЕ ПРОДУЦИРОВАНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В АЗОВСКОМ МОРЕ В 2019 Г.

Ю.В. Косенко

*Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону, Россия, kosenko\_y\_v@azniirkh.ru*

Первичная продукция, наряду с аллохтонным органическим веществом, является основой потока веществ и энергии в водном объекте и во многом определяет его биологическую продуктивность. Конечным этапом продукционного процесса является рыбопродукция, связанная с фотосинтетической деятельностью фитопланктона и закономерностями перехода вещества и энергии через трофические звенья. Изучение уровня первичного продуцирования органического вещества фитопланктоном на фоне неуклонного роста солености Азовского моря является важной и актуальной задачей, кроме того, рядом авторов показано отрицательное воздействие солености на первичную продукцию органического вещества в Азовском море [1, 2, 4, 5].

Отбор проб воды проводили батометром Нискина или ГР-18 с поверхностного (верхний 0,5 м слой) и придонного (нижний 0,5 м слой) горизонтов согласно ГОСТ 17.1.5.05-85 и ГОСТ 31861-2012. Гидрохимические исследования были проведены в летний (июль, август) и осенний (октябрь) периоды 2019 года на 32 комплексных станциях, расположенных по всей акватории собственно моря и Таганрогского залива (рисунок 1).



Рисунок 1 – Стандартная сетка комплексных станций Азовского моря

Величину первичной продукции определяли по методу С.В. Бруевича в модификации В.Г. Дацко [3], получившего в практике биопродукционных исследований название «Δ максимум O<sub>2</sub>». Для оценки величины первичного



продуцирования органического вещества за вегетационный период использовали данные, полученные в летние месяцы.

На фоне продолжающегося роста солености в 2019 г. на акватории собственно моря наблюдалось дальнейшее снижение величины первичной продукции относительно среднемноголетнего уровня. В собственно море на фоне уменьшения первичной продукции отмечено четкое снижение хлорофилла «а» относительно среднемноголетних значений, и как следствие – снижение общих форм азота и фосфора (таблица). На акватории собственно моря в 2019 г. продуктивной оставалась лишь юго-восточная и восточная половина моря, благодаря влиянию пресного стока р. Кубань.

Таблица – Интенсивность первичной продукции, концентрации хлорофилла «а», общего азота и фосфора в воде Азовского моря

Показатель	Средние значения (летний период 2019 г.)		Среднемноголетний уровень (летний период 2007-2018 гг.)	
	собственно море	Таганрогский залив	собственно море	Таганрогский залив
Первичная продукция, млн т. год	22,0	3,0	37,0	4,7
Хлорофилл «а», мг/м <sup>3</sup>	7,5	76,0	11,0	57,0
Общий азот, мг/дм <sup>3</sup>	0,63	1,57	0,99	1,25
Общий фосфор, мг/дм <sup>3</sup>	0,036	0,070	0,065	0,108

В Таганрогском заливе ситуация была менее однозначная, поскольку снижение уровня первичной продукции сопровождалось повышенным содержанием хлорофилла «а» относительно среднемноголетних показателей (таблица). Следует обратить внимание на то, что в летний период в воде Таганрогского залива отмечено четкое пространственное совпадение хлорофилла «а», общего азота и фосфора, тогда как пересыщения воды кислородом не установлено, а в центральном районе залива отмечено ее недонасыщение кислородом (рисунок 2). Возможно, снижение уровня первичного продуцирования в Таганрогском заливе обусловлено повышенной интенсивностью деструкционных процессов в силу его высокой трофности.

В осенний период 2019 года в центральном районе Таганрогского залива в непосредственной близости от Ейского лимана при высоких концентрациях хлорофилла «а» (48 мг/м<sup>3</sup>) также преобладали деструкционные процессы, снижающие содержание кислорода в поверхностном слое до 90 % насыщения. Таким образом, из Ейского лимана в Таганрогский залив отмечается поступление избыточного количества аллохтонных органических веществ, и, как следствие, наблюдается гипертрофирование воды, накопление общих форм азота и фосфора и расходование кислорода на окислительные процессы (рисунок 3).

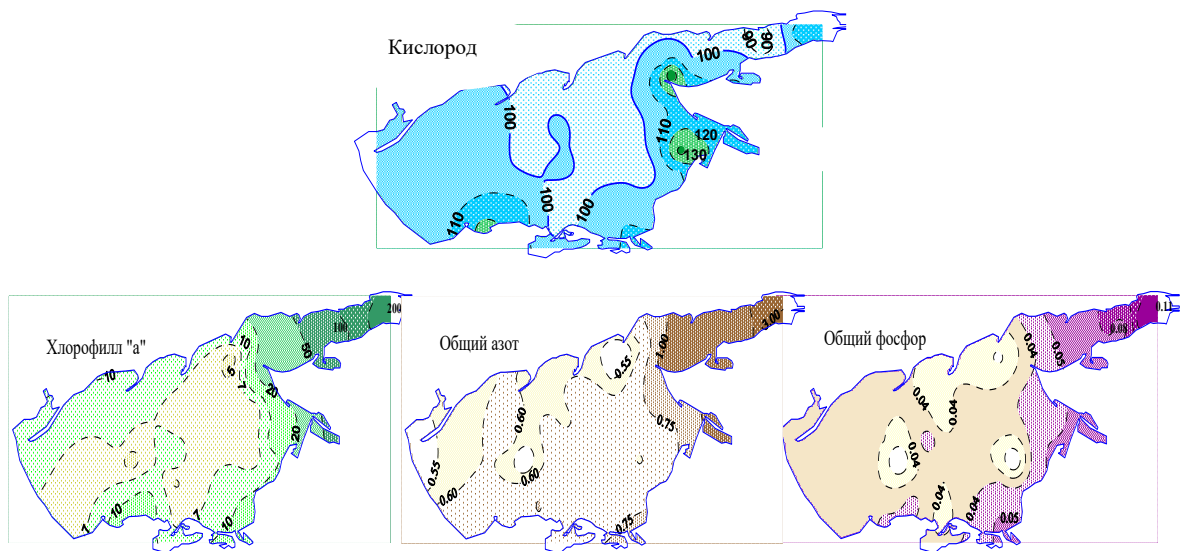


Рисунок 2 – Пространственное распределение растворенного кислорода (% насыщения), хлорофилла «а» ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ), общих форм азота и фосфора ( $\text{мг}/\text{дм}^3$ ) в поверхностном горизонте Азовского моря в летний период 2019 г.

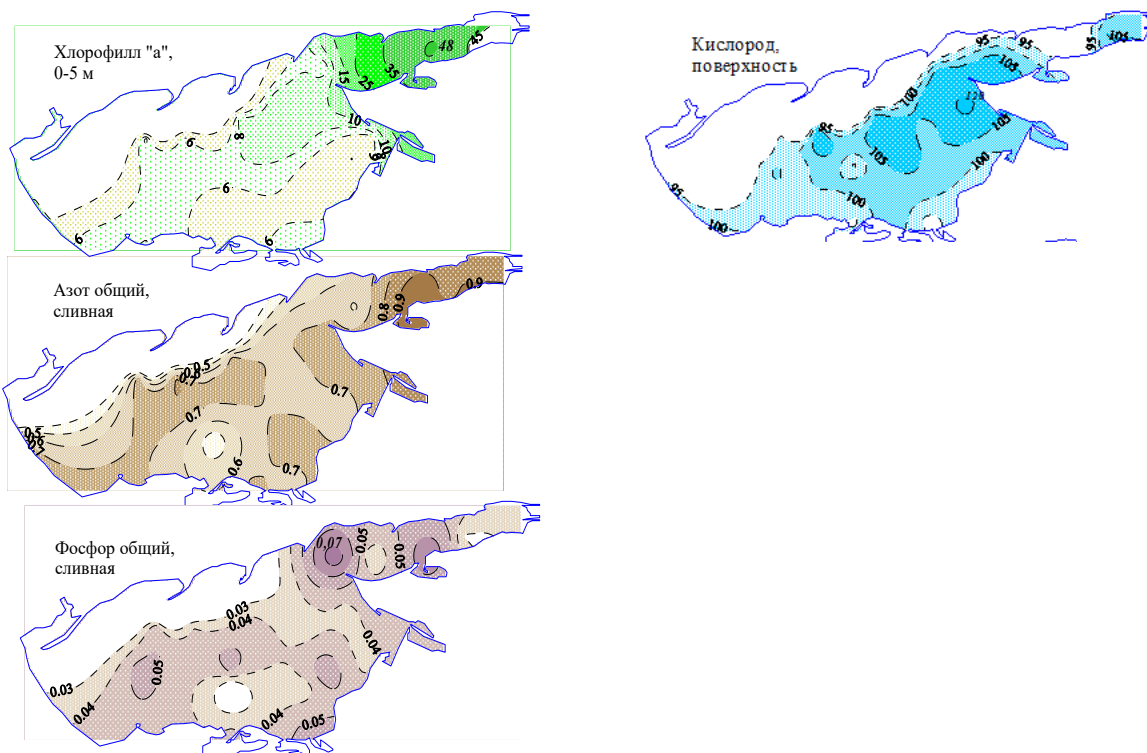


Рисунок 3 – Пространственное распределение растворенного кислорода (% насыщения), хлорофилла «а» ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ), общих форм азота и фосфора ( $\text{мг}/\text{дм}^3$ ) в воде Азовского моря в осенний период 2019 г.

Таким образом, на фоне продолжающегося роста солёности в 2019 г. на акватории собственно моря и Таганрогского залива наблюдалось снижение величины первичной продукции относительно среднемноголетнего уровня (2007-2018 гг.). Интенсивный фотосинтез фитопланктона отмечен в районах влияния пресного стока рек Дон и Кубань – юго-восточная и восточная половина моря, восточный район Таганрогского залива. В центральной части

Таганрогского залива в летний и осенний периоды года отмечено гипертрофирование, приводящее к недонасыщению воды кислородом.

#### Список литературы

1. Бронфман А.М., Дубинина В.Г., Макарова Г.Д. Гидрологические и гидрохимические основы продуктивности Азовского моря. М.: Пищевая промышленность, 1979. 288 с.
2. Бронфман А.М., Хлебников Е.П. Азовское море. Основы реконструкции. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 270 с.
3. Дацко В.Г. Органическое вещество в водах южных морей СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 272 с.
4. Косенко Ю.В., Баскакова Т.Е., Барабашин Т.О. Динамика гидрохимических характеристик Азовского моря в современный период осолонения // Известия высших учебных заведения. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки, 2017. № 3/1. С.76-82.
5. Матишов Г.Г., Гаргопа Ю.М., Бердников С.В., Дженюк С.Л. Закономерности экосистемных процессов в Азовском море. М.: Наука, 2006. 304 с.

## НЕОДНОРОДНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ СОЕДИНЕНИЙ МЕТАЛЛОВ В РЕЧНЫХ ВОДАХ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ С УЧЕТОМ ГИДРОХИМИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ

Л.С. Косменко<sup>1)</sup>, О.С. Решетняк<sup>1), 2)</sup>, А.О. Даниленко<sup>1)</sup>, М.Ю. Кондакова<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>ФГБУ «Гидрохимический институт» Росгидромета, Ростов-на-Дону,

*l.kosmenko@gidrohim.com*

<sup>2)</sup>Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, *olgare1@mail.ru*

В силу своего географического положения Европейская территория России (ЕТР) характеризуется разнообразным спектром широтных зон – от арктической пустыни и тундры до полупустынь и пустынь. Такая сложность строения территории обуславливает необходимость учета региональных особенностей формирования химического состава и качества воды при исследовании водных объектов. При этом каждой средней и крупной реке, а нередко и отдельному участку водотока, свойственны свои особенные условия формирования состава воды, что и предопределяет изменчивость речных вод. На фоне пространственной зональной неоднородности химического состава речных вод [4] не меньший интерес представляет выявление неоднородности распределения содержания соединений металлов в речных водах с учетом как зональных, так и азональных факторов.

Как известно, распределение химических элементов в природных водах определяется типом природной системы (геохимической среды), свойствами самих элементов и подчиняется основным геохимическим закономерностям. В изменении химического состава речной воды в целом для территории России наблюдается определенная закономерность. Это в большей степени характерно и для ЕТР, где существует тенденция к увеличению с севера на юг и с запада на восток минерализации воды и содержания отдельных ионов [4].

Гидрохимическая зональность является естественным следствием воздействия комплекса физико-географических условий, влияющих на формирование химического состава вод рек. Географическая закономерность в распределении химического состава речной воды в ряде случаев нарушается для больших рек. Они являются сложными системами, объединяющими бассейны малых рек, часто отличающихся гидрологическим режимом, составом подстилающих пород и климатическими условиями, в силу чего химический состав их воды интегрирует совокупность свойств воды отдельных притоков. При значительной протяженности больших рек химический состав их воды часто, особенно при пересечении различных географических зон, совершенно не соответствует условиям формирования состава воды притоков в данной местности. Поэтому 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 [1, 4].

*Материалы и методы исследования.* При рассмотрении изменчивости компонентного состава природных вод, выявлении региональных особенностей в распределении металлов в речных водах ЕТР в качестве природно-территориальной единицы использованы физико-географические провинции (ФГП), что позволило сгруппировать речные экосистемы ЕТР с учетом особенностей зонального типа ландшафтов ([www.geogr.msu.ru:8082/FGR/](http://www.geogr.msu.ru:8082/FGR/)).

Исследование проведено на основе многолетней гидрохимической информации Государственной системы наблюдений (ГСН) Росгидромета в части поверхностных вод суши. В исходный массив данных включена информация о содержании соединений металлов (ионы  $Mg^{2+}$  и  $Ca^{2+}$ ; тяжелые металлы – Fe, Cu, Zn) в воде более, чем 200 водотоков ЕТР за период с 1985 по 2015 г. Реки ЕТР, включенные в исследование, находятся в пределах 32 ФГП в пределах различных природных зон – тундровой и лесотундровой, таёжной, области смешанных лесов, лесостепной, степной и полупустынной.

В настоящее время, в сложившихся природно-антропогенных условиях формирования химического состава речных вод необходимым условием является наличие статистически однородных данных наблюдений продолжительностью не менее 15 лет, что является достаточным, чтобы охватить периоды маловодных и многоводных лет в гидрологическом режиме водного объекта. При использовании многолетней информации выборка по каждому показателю проверена на однородность. Изменчивость содержания химических веществ в речных водах ЕТР оценена по медианным годовым значениям многолетних рядов данных с последующей группировкой полученных значений для каждой ФГП. Все статистические расчеты выполнены с использованием стандартного программного пакета Statistica v. 13.3. Закономерности влияния геохимической обстановки на пространственное распределение соединений металлов в речных водах ЕТР также были изучены на основе анализа тесноты связи между данными о медианных концентрациях и о географических координатах пунктов отбора проб. Оценка тесноты связи дана по непараметрическому коэффициенту корреляции Спирмена ( $r$ ). Трактовка тесноты связи:  $r \geq 0,75$  – сильная;  $0,50 \leq r < 0,75$  – средняя;  $0,25 \leq r < 0,50$  – слабая;  $r < 0,25$  очень слабая [2].

*Результаты исследования и их обсуждение.*

*Распределение содержания соединений металлов в реках ЕТР*

**1 Щелочно-земельные металлы.** Рассмотрение изменчивости природного содержания ионов магния и кальция в реках ЕТР разных провинций и проверка на наличие статистически значимых отличий этих концентраций между смежными провинциями позволило сгруппировать участки рек в группы с однородными значениями концентраций (рисунки 1, 2).

Природные концентрации **ионов магния** в речных водах ЕТР имеют общую четко выраженную тенденцию увеличения их содержания с севера на юг. Содержание ионов магния меняется от 1,6 до 30,5 мг/дм<sup>3</sup>. Минимальные природные концентрации этих ионов отмечены в водных объектах северных провинций (Северо-, Западно- и Восточно-Кольской, Карельской и др.) и

варьируют в пределах  $(1,6 \pm 0,9)$  мг/дм<sup>3</sup>. Максимальное содержание приурочено к южным провинциям (рисунок 1).

Для ЕТР медианные значения концентраций **ионов кальция** в речных водах меняются от 3,9 до 122 мг/дм<sup>3</sup> с тенденцией увеличения с севера на юг до лесостепной зоны включительно с последующим снижением в областях более засушливого климата. При этом, минимальное содержание ионов кальция  $((3,9 \pm 2,2)$  мг/дм<sup>3</sup>), обнаруживается в тех же северных провинциях (рисунок 2). Наибольшие концентрации ионов кальция характерны для рек Северо-Приволжской, Кинельско-Камской, Бугульминско-Белебеевской, Провинции Общего Сырта и Самаро-Иргизской провинций и составляют  $(122,2 \pm 47,3)$  мг/дм<sup>3</sup>.

**2 Соединения тяжелых металлов.** Природное содержание **соединений железа** в речных водах меняется от 0,01 до 1,87 мг/дм<sup>3</sup>, с тенденцией уменьшения с севера на юг (статистически значимая положительная связь умеренной силы между медианами и широтной координатой  $r=0,51$ ) [2]. В таёжной зоне в пределах Малоземельско-Большеземельской, Карельской, Онежско-Двинской, Пинего-Мезенской, Мезенско-Двинской, Тиманской и Печорской провинций наблюдаются наибольшие медианные значения концентрации (рисунок 3).

К северу от этих провинций лежат территории, характеризующиеся низким содержанием в речных водах соединений железа (от 0,19 до 0,36 мг/дм<sup>3</sup>), ограниченные переделами Ветлужско-Унжинской, Вятско-Камской, Верхне-Волжской, Прибалтийской и Карельской провинций. Реки европейского Севера отличаются средними медианными концентрациями соединений железа (от 0,36 до 0,53 мг/дм<sup>3</sup>), а повышенные (от 0,53 до 0,70 мг/дм<sup>3</sup>) и высокие (более 0,70 мг/дм<sup>3</sup>) концентрации свойственны единичным водным объектам, являясь при этом гидрохимическими аномалиями (например, в р. Пра в Мещерской провинции) [2].

**Для соединений меди и цинка** выявлена азональность в распределении их содержания в речных водах (рисунки 4, 5).

Медианные концентрации **соединений меди** в реках ЕТР наблюдаются от минимальных пределов их обнаружения до 9 мкг/дм<sup>3</sup> (р. Кубань, ст-ца Ладожская). Общая тенденция изменения с севера на юг не выявлена, однако отмечается слабая отрицательная связь с долготной координатой ( $r = -0,36$ ) [2], что характеризует некоторое снижение концентраций меди при движении с запада на восток ЕТР. Минимальные концентрации соединений меди (до 1,2 мкг/дм<sup>3</sup>) 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<sup>3</sup>) и средним (от 2,4 до 3,6 мкг/дм<sup>3</sup>) содержанием соединений меди в водной среде их рек. Повышенные значения медианных концентраций соединений меди (от 3,6 до 4,8 мкг/дм<sup>3</sup>) характерны для водных объектов Смоленско-Московской и Мещерской провинций.

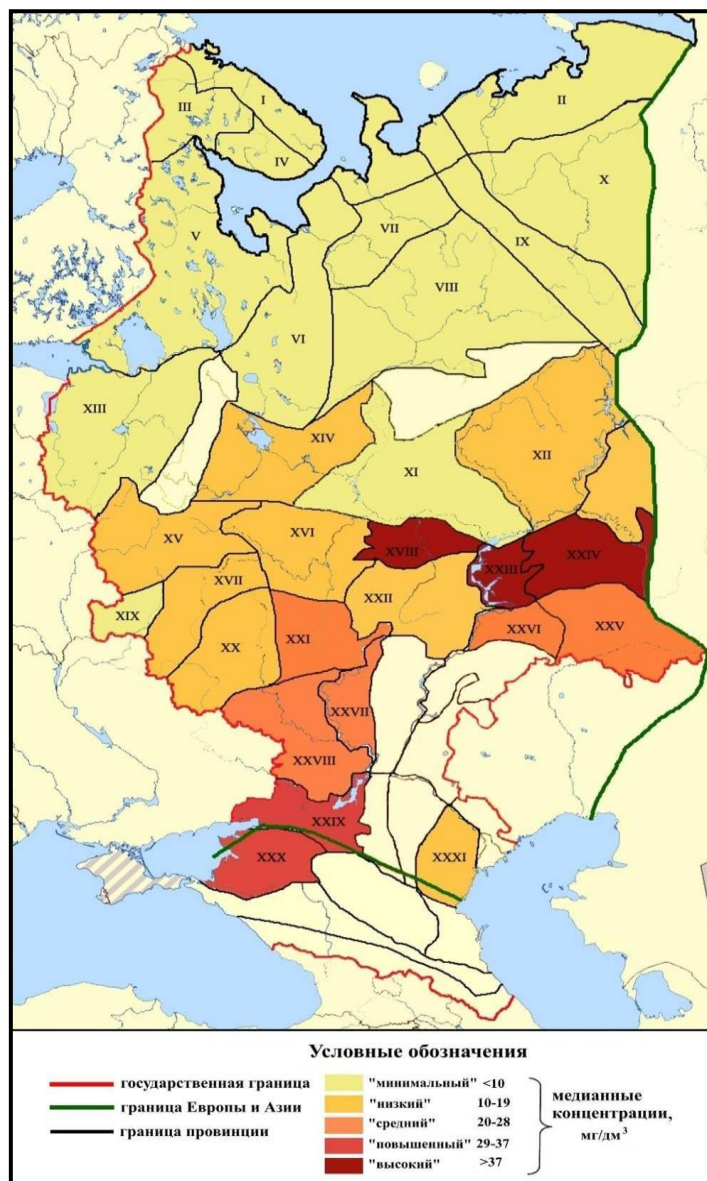


Рисунок 1 – Распределение магния в водах рек ЕТР

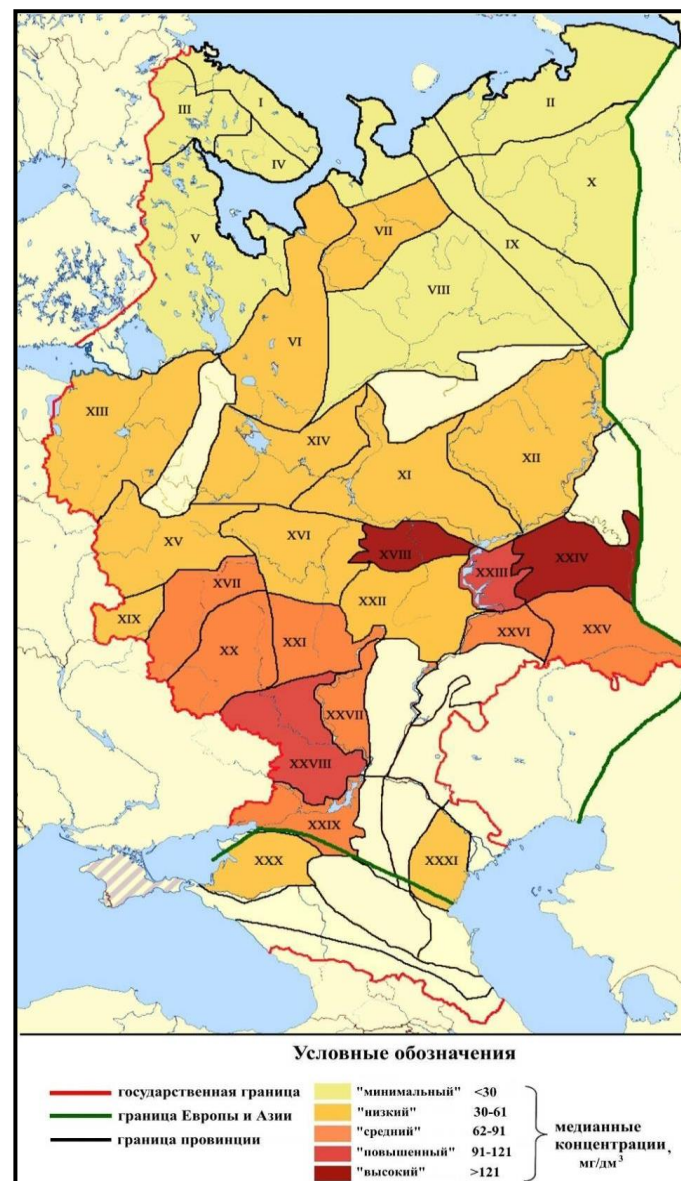


Рисунок 2 – Распределение кальция в водах рек ЕТР

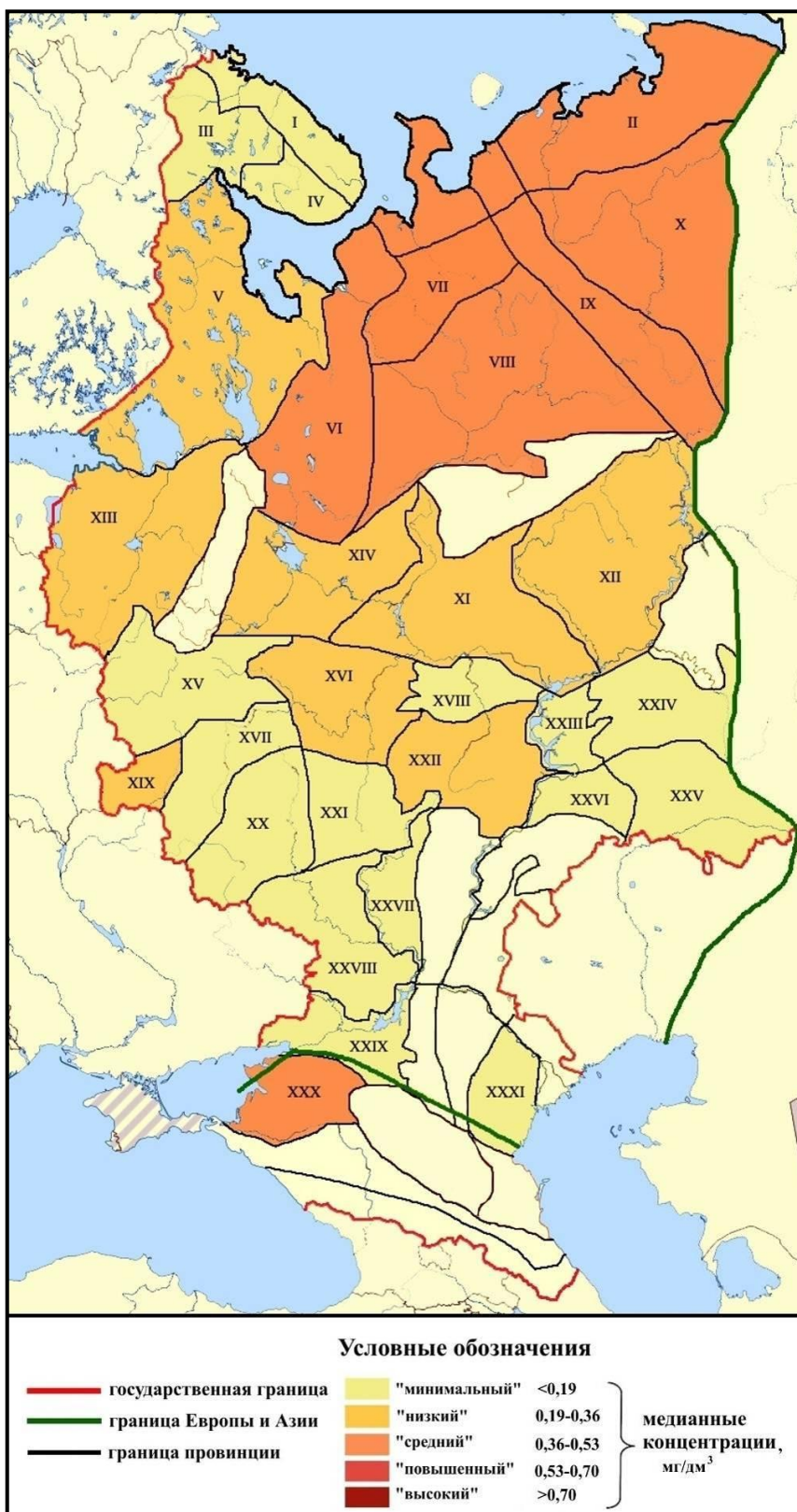


Рисунок 3 – Распределение содержания соединения железа в реках Европейской территории России



В крайних южных провинциях участки р. Кубань имеют наивысшие медианные концентрации соединений меди на ЕТР (более 4,8 мкг/дм<sup>3</sup>) (рисунок 4).

Изменчивость содержания *соединений цинка* в водах рек ЕТР (рисунок 5) характеризуется размахом от пределов их обнаружения до 33,3 мкг/дм<sup>3</sup> с отсутствием четкой тенденции изменения с севера на юг или с запада на восток [2]. При этом минимальные содержания соединений цинка (до 7,1 мкг/дм<sup>3</sup>) в водах рек наблюдаются в реках большинства провинций.

Средними значениями медианных концентраций соединений цинка в речных водах (от 7,1 до 21,4 мкг/дм<sup>3</sup>) характеризуются Смоленско-Московская, Мещерская и Северо-Приволжская провинции, а также Малоземельско-Большеземельская, Мезенско- и Онежско-Двинская провинции. 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<sup>3</sup>) (рисунок 5).

Таким образом, закономерности широтной зональности, хорошо проявляющиеся в пространственном распределении концентраций катионов щелочно-земельных металлов, нарушаются для некоторых соединений тяжелых металлов. Это может быть связано усилением роли антропогенного фактора в формировании химического состава рек.

Закономерности широтной зональности и изменчивость содержания химических веществ в речных водах оказывают ключевое влияние на дифференциацию их природного содержания («гидрохимический фон») в водотоках. Можно предполагать, что отступление от этих закономерностей в распределении концентраций некоторых элементов носит либо антропогенный характер, либо говорит о формировании гидрохимической аномалии. В исследуемых реках формируются достаточно устойчивые гидрохимические аномалии, когда на некотором участке наблюдается распространение природных вод с содержанием какого-либо компонента, аномальным по отношению к фоновому значению [4, 5].

В пределах ЕТР гидрохимические аномалии установлены на 113 участках рек из 261, при этом количество выявленных аномалий варьировало от 1 до 6. По количеству случаев выявленных аномалий гидрохимические показатели можно ранжировать в следующий ряд: (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)<sup>38</sup> (случаев), (Ca<sup>2+</sup>)<sup>22</sup>, (Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)<sup>18</sup>, (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)<sup>16</sup>, Fe<sup>15</sup>, (ТООВ)<sup>13</sup>, (Mg<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cu<sup>2+</sup>)<sup>11</sup>, (НФ)<sup>10</sup>, (Zn<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>)<sup>9</sup>, (ЛООВ)<sup>7</sup> [3, 4].

Из числа выявленных статистически значимых гидрохимических аномалий доля аномального содержания в речных водах ионов кальция составила 10,6 %, соединений железа – 7,2 %, ионов магния и меди – по 5,2 % и меньше всего аномалий по содержанию соединений цинка – 4,3 %.

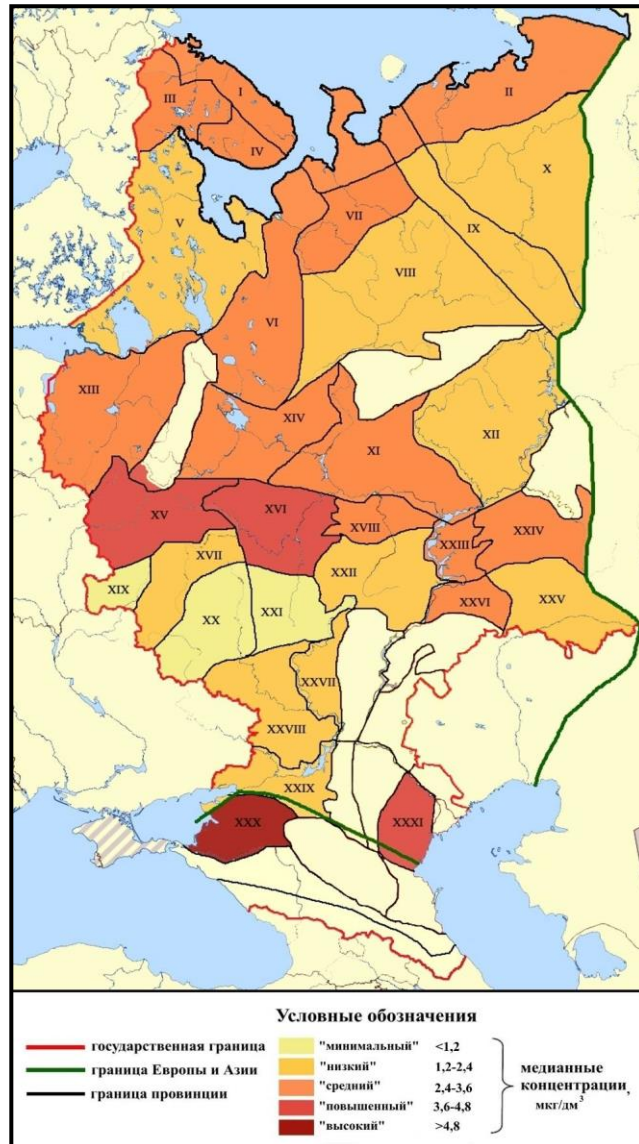


Рисунок 4 – Распределение меди в водах рек ЕТР

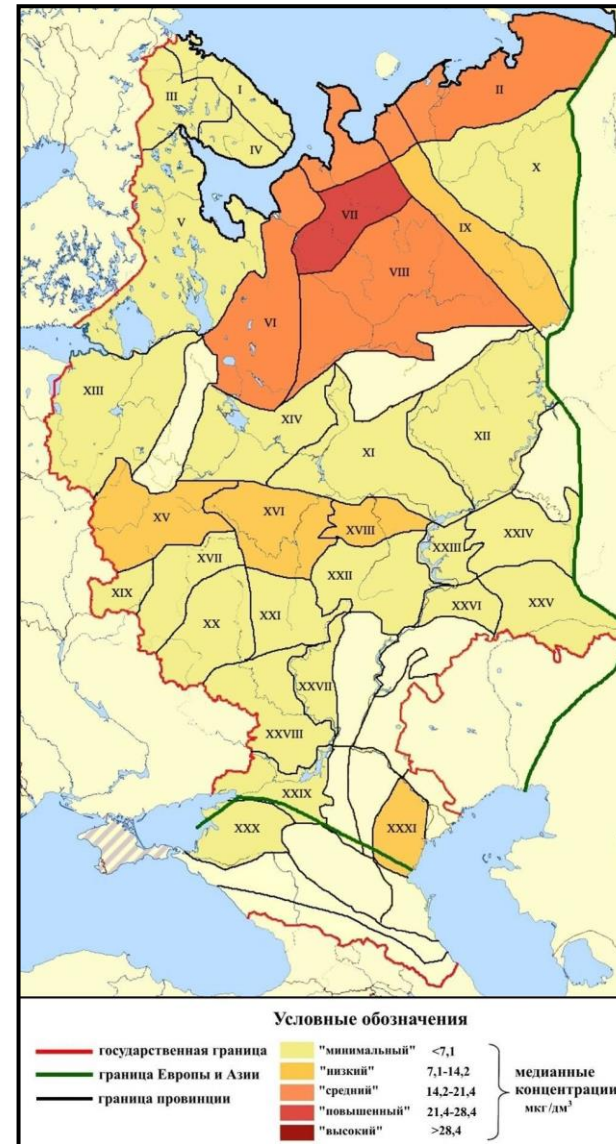


Рисунок 5 – Распределение цинка в водах рек ЕТР

По генезису из числа выявленных в речных водах ЕТР преобладают гидрохимические аномалии техногенно-смешанного типа (53 %). В направлении с севера на юг наблюдается тенденция увеличения доли техногенно-смешанных аномалий, что можно связать с усилением антропогенной нагрузки на водотоки за счет более развитой промышленности и сельского хозяйства в центральной и южной частях ЕТР, то есть отчетливо прослеживается влияние антропогенного фактора на неоднородность химического состава речных вод [4].

Полученные результаты в дальнейшем могут быть использованы при решении таких актуальных вопросов, как разработка региональных критериев оценки современного качества воды и состояния водных экосистем, выявление участков рек с повышенным или пониженным содержанием отдельных химических веществ, прогнозирование изменения химического состава речных вод и разработка экологически обоснованных водоохраных мероприятий, направленных на сохранение речных экосистем.

#### Список литературы

1. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1970. 444 с.

2. Даниленко А.О., Косменко Л.С., Кондакова М.Ю., Решетняк О.С. Широтная зональность в распределении концентраций соединений тяжелых металлов в речных водах Европейской территории России // Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды. Основные результаты и пути развития. Тезисы докладов. [Электронный ресурс] М.: ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН», 2017. С. 507-508.

3. Кондакова М.Ю., Косменко Л.С., Даниленко А.О., Решетняк О.С. Характеристика гидрохимических аномалий в речных водах Европейской территории России // Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды. Основные результаты и пути развития. Тезисы докладов. [Электронный ресурс] М.: ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН», 2017. С. 505-506.

4. Решетняк О.С., Даниленко А.О., Кондакова М.Ю., Косменко Л.С. Природные концентрации химических веществ и гидрохимические аномалии в речных водах Европейской части России в пределах природно-территориальных комплексов // Водные ресурсы: новые вызовы и пути решения. Сборник научных трудов. Новочеркасск: Лик, 2017. С. 421-426.

5. Словарь по гидрогеологии и инженерной геологии. Составитель: А.А. Маккавеев, редактор О. К. Ланге. М.: Гостоптехиздат, 1961. 74 с.

## ТИПИЗАЦИЯ ВОДОЕМОВ ДЕЛЬТЫ Р. КУБАНЬ

О.Л. Кулий

*ООО «Научно-консультационный центр «Югрыбком»*

*Краснодар, okuliy@mail.ru*

Дельта р. Кубань является уникальным природным комплексом состоящим из лиманов, лагун и дельтовых озер. Водоемы дельты р. Кубань являются мелководными (их глубина не превышает 2,0-2,5 м, а чаще всего 1,0–1,5 м), занимают большие площади, имеют извилистую береговую линию, поросшую тростником. Такой тип водоемов считается морфологически евтрофным.

Дельтовые водоемы испытывают повышенную антропогенную нагрузку. Основными факторами являются: зарегулирование стока р. Кубань и внутригодовое перераспределение его для нужд орошаемого земледелия, что изменило не только количество речного стока в лиманы, но и качественные характеристики речной воды; замена значительной части речного стока в лиманы возвратными водами с рисовых систем; добыча углеводородов как в бассейне, так и в дельте; применение минеральных и органических удобрений и многие другие.

Водная масса дельтовых водоемов формируется в результате смешением трех типов вод: речной, возвратной с рисовых систем и морской. Большое значение в формировании качества воды водоемов имеет погруженная растительность. Остальные составляющие водного баланса дельтовых водоемов (атмосферные осадки, грунтовые и плавневые воды) имеют неизмеримо меньшее значение в формировании химического состава вод дельтовых водоемов.

Известно, что все многообразие вод на планете О.А. Алекин (1970) свел к трем классам: хлоридный, сульфатный и карбонатный. Все эти три класса представлены в дельте р. Кубань. Хлоридный класс – вода Азовского моря, сульфатный – возвратные воды с рисовых систем и карбонатный – речная вода. Сочетание этих трех типов вод определяет неоднородность химического состава воды водоемов и их большую пространственно-временную изменчивость.

Эти водоемы отличаются высокой биологической продуктивностью. Для них характерны два типа продуцентов органического вещества: фитопланктон и погруженная растительность.

Первая типизация, учитывающая неоднородность химического состава вод дельтовых водоемов, была разработана Д.А. Драгуновой (1971). В основу были положены величина водоемов (большие, малые) и тип водного питания. Были выделены две группы: большие водоемы, которые были подразделены на две подгруппы (большие, питающиеся речной водой и большие, питающиеся сбросной с рисовых систем). Вторая группа – это малые водоемы, разделенные автором на две подгруппы: малые, заросшие погруженной растительностью, и малые в зарослях тростника. Далее Д.А. Драгунова (1971) рассматривает

карбонатно-кальциевое равновесие в каждой подгруппе.

В представленной нами типизации выделены пять типов дельтовых водоемов. В качестве критериев приняты следующие: тип водного питания, основной продуцент органического вещества (фитопланктон или погруженная растительность), величина первичной продукции и сезонные изменения газового режима, минерализации воды и др.

I тип. Водоемы речного питания, слабозарастающие погруженной растительностью: Лл. Восточный Долгий, Кущеватый, Замарайков, Дончиков, Пригиевский и др. Обычно эти водоемы характеризуются большой площадью 10–30 км<sup>2</sup>, питаются речной водой. В зимний период при уменьшении речного стока в водоемы поступает морская вода. Минерализация изменяется от 0,39 (класс карбонатный или сульфатный) до 4,0‰ (класс хлоридный). Основным продуцентом органического вещества является фитопланктон, продукция которого достигает 390 г/м<sup>2</sup> углерода в год, продукция погруженной растительности значительно ниже и составляет порядка 50 г/м<sup>2</sup> углерода в год. Водоемы этого типа характеризуются достаточно устойчивым газовым режимом, так амплитуда суточных изменений растворенного в воде кислорода даже в летние месяцы не превышает 30 % насыщения. Значения показателя рН изменяются от 8,2 (летом в дневные часы) до 8,8 (зимой в дневные часы).

II тип. Лл. Грущаные, Балясниевский, Песчаный, Западные Ахтарско-Гривенские и др. Самая многочисленная группа водоемов дельты р. Кубань. Водоемы речного питания, зарастающие погруженной растительностью. Площадь этих водоемов меньше 10 км<sup>2</sup>. Питаются как непосредственно речной водой, так и трансформированной в лиманах речной водой. Основным продуцентом органического вещества является погруженная растительность, продукция которой составляет порядка 250 г/м<sup>2</sup> углерода в год, фитопланктон угнетен, его продукция не превышает 40 г/м<sup>2</sup> углерода в год. Минерализация воды изменяется от 0,7 (класс карбонатный или сульфатный) до 2,0‰ (класс хлоридный). Как правило, это окраинные водоемы любой системы, и они питаются речной водой, трансформированной в водоемах I типа. Высокая степень зарастания погруженной растительностью определила нестабильность их газового режима. Суточные колебания растворенного в воде кислорода составляют в летний период 100 % насыщения. Сезонные колебания показателя рН самые высокие среди всех водоемов дельты р. Кубань и составляют 9,8 летом (в дневные часы) и 8,2 зимой.

III тип. Лл. Курчанский, Карпиевский. Водоемы – приемники возвратных вод с рисовых систем, слабозарастающие погруженной растительностью. Возвратные воды с рисовых систем подразделяются на два типа: коллекторно-дренажные, поступающие в вегетационный период с апреля по сентябрь и дренажные, поступающие с октября по март. Площадь этих водоемов более 50 км<sup>2</sup>. Минерализация воды изменяется от 1,0 (класс сульфатный) до 7,0‰ (класс хлоридный). Основным продуцентом органического вещества является фитопланктон, продукция которого составляет 290 г/м<sup>2</sup> углерода в год, продукция погруженной растительности ниже и составляет порядка 100 г/м<sup>2</sup> углерода в год. Газовый режим достаточно стабилен, так амплитуда суточных

изменений растворенного в воде кислорода даже в летние месяцы не превышает 20 % насыщения. Летние значения показателя рН самые низкие среди дельтовых водоемов – 7,9, что связано с низкими значениями этого показателя коллекторно-дренажных вод. Зимой значения рН составляют 8,6.

IV тип. Л. Войсковой. Водоемы – приемники возвратных вод с рисовых систем, зарастающие погруженной растительностью.

Площадь этих водоемов равна или менее 10 км<sup>2</sup>. Питаются возвратными водами с рисовых полей. Минерализация воды изменяется от 1,0 (класс сульфатный, хлоридный) до 4,0‰ (класс хлоридный). Основным продуцентом органического вещества является погруженная растительность, продукция которой составляет 400 г/м<sup>2</sup> углерода в год (максимальные значения для водоемов дельты р. Кубань), продукция фитопланктона значительно ниже и составляет порядка 50 г/м<sup>2</sup> углерода в год. Газовый режим нестабилен, так амплитуда суточных изменений растворенного в воде кислорода в летние месяцы составляет 60 % насыщения. Летние значения показателя рН самые низкие среди дельтовых водоемов – 7,7, что связано с низкими значениями этого показателя коллекторно-дренажных вод. Зимой значения рН составляют 8,6.

V тип. Приморские водоемы. Лл. Куликовский, Сладкий и др. Площадь этих водоемов значения не имеет, но водоемы достаточно крупные. Тип питания наиболее сложный. Весной и летом они питаются трансформированной в лиманах речной и коллекторно-дренажными водами, осенью и зимой с уменьшением континентального стока в эти водоемы поступает морская вода. Во все сезоны года морская вода в такие водоемы может поступать даже при смене направления и скорости ветра, поэтому минерализация воды колеблется в больших пределах, достигая максимальных значений 9-12‰ (класс воды хлоридный ).

Основным продуцентом органического вещества является фитопланктон, продукция которого составляет 250 г/м<sup>2</sup> углерода в, продукция погруженной растительности значительно ниже и составляет порядка 30 г/м<sup>2</sup> углерода в год. Газовый режим отличается стабильностью, амплитуда суточных изменений растворенного в воде кислорода в летние месяцы составляет всего 15 % насыщения. Колебания показателя рН в течение года незначительны – 8,0-8,4.

Представлены основные типы водоемов дельты р. Кубань, безусловно возможно наличие смешанных типов. Например, в первом типе можно выделить два подтипа: водоемы пресные, питающиеся речной водой и солоноватые, питающиеся трансформированной в лиманах речной водой и расположенные ближе к морю.

Предложенная типизация, на наш взгляд, отражает процесс эволюции дельтовых водоемов. Так, вновь образованные водоемы относились к пятому типу, затем шло выдвигание дельты, водоемы отделялись от моря и стали относиться к первому типу. Затем водоемы все более заполнялись наносами, накапливали органические вещества, зарастали погруженной растительностью и переходили ко второму типу. Затем они уменьшались по площади и при определенных условиях превращались в плавню. Третий и четвертый типы

являются антропогенными и ускоряют переход водоемов в плавневую стадию.

Предложенная типизация хорошо согласовывается с воспроизводственным значением водоемов. Водоемы первого, третьего и пятого типа являются воспроизводственными для судака и тарани, второго типа – для тарани. Водоемы четвертого типа являются местом обитания местной малоценной ихтиофауны.

Типизация водоемов может быть использована для разработки научных основ и проведения мониторинга, а также для решения различных водохозяйственных проблем водоемов дельты р. Кубань.

#### Список литературы

1. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 444 с.
2. Драгунова Д.А. Гидрохимическая характеристика Кубанских дельтовых лиманов. Автореф. соиск. уч. ст. канд. хим. наук ГХИ Ростов-на-Дону, 1971. 29 с.

# АНАЛИЗ МНОГОЛЕТНЕЙ ДИНАМИКИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕКИ ДОНХОВКА – ПРИТОКА ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА (ТВЕРСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Е.Е. Лапина, В.В. Кудряшова

*Иваньковская научно-исследовательская станция – филиал ФГБУН  
«Институт водных проблем РАН», Конаково, shtriter\_elena@rambler.ru*

Водосбор реки Донховка приурочен к Верхневолжской низине – северо-восточной части бассейна Иваньковского водохранилища, одного из питьевых источников Московского мегаполиса.

Средняя густота речной сети для низины составляет 0,6-0,7 км/км<sup>2</sup>, в ее пределах модули поверхностного стока – 5,0-8,5 л/с·км<sup>2</sup>. В геологическом строении территории принимают участие современные болотные и четвертичные отложения (общая мощность последних от 40 до 100 м), представленные аллювиальными и флювиогляциальными песками и моренными суглинками, которые перекрывают юрские глины, залегающие на каменноугольных породах [2]. По карте подземного стока Б. И. Куделина на изученной территории среднегодовой модуль подземного стока составляет 1,5-2,0 л/с·км<sup>2</sup>. Регион характеризуется превышением осадков над испарением примерно на треть, количество осадков в среднем составляет 600 - 720 мм в год [3].

Река Донховка – правый приток Иваньковского водохранилища, длиной 27 км, ширина русла меняется от 1,7 м в верховьях до 5 м в устье, глубина 0,25 – 2,5 м; по берегам, начиная от с. Селихово, выходят восходящие родники. Одним из них родников является Ильинский родник, расположенный в 35 м ниже автомобильного моста, на пойме реки.

Донховка начинается в болотном массиве Моховое, в Московской области.

В заболоченной части водосбора река служит водоприемником дренажных болотных вод, выше д. Поречье русло канализовано. Подпор от водохранилища распространяется на 3 км вверх, в устье располагается город Конаково. Водосбор Донховки испытывает значительную антропогенную нагрузку различного характера [5].

В основе работы лежат режимные наблюдения авторов на створе в с. Селихово (автомост) перед Ильинским родником, а также результаты собственных экспедиционных работ по изучению процессов самоочищения реки от истоков до устья.

Отбор проб и замер расхода Донховки на створе проводится с 1997 года с частотой 1 раз в два месяца и более, то есть за год отбирается на створе от 6 до 11 проб. Пробы в день отбора привозят на анализ, который выполняется в аттестованной гидрохимической лаборатории Иваньковской станции по стандартным методикам [4]. В пробах определяются физико-химические показатели, солевой состав, содержание биогенных и органических веществ.



На химический состав водотоков большое влияние оказывает водность года. В таблице 1 представлена многолетняя динамика среднегодового ионного состава, электропроводности и общей минерализации с учетом водности года.

Таблица 1 – Динамика среднегодового химического состава, общей минерализации (М) и электропроводности (ЭПР) реки Донховка (створ Селихово) с учетом фазы водности года (n – число данных)

Годы	n	М, мг/дм <sup>3</sup>	ЭПР, мS/m	Ионный состав, % - ммоль/дм <sup>3</sup>
Многоводные годы				
1998	11	336	44,0	HCO <sub>3</sub> 79 SO <sub>4</sub> 19 Cl11 NO <sub>3</sub> 2/Ca69Mg32(Na+K)9
2000	7	486	54,5	HCO <sub>3</sub> 66 SO <sub>4</sub> 24 Cl9 NO <sub>3</sub> 1/Ca 62 Mg36(Na+K)2
2013	11	342	45,5	HCO <sub>3</sub> 77 SO <sub>4</sub> 14 Cl7 NO <sub>3</sub> 1/Ca60Mg28(Na+K)12
Маловодные годы и близкие к норме				
2002	11	376	50,7	HCO <sub>3</sub> 71 SO <sub>4</sub> 17 Cl13 NO <sub>3</sub> 1/Ca 61 Mg34(Na+K)4
2015	7	419	54,4	HCO <sub>3</sub> 77 SO <sub>4</sub> 12 Cl9 NO <sub>3</sub> 2/Ca 69 Mg30(Na+K)1
2019	7	363	41,5	HCO <sub>3</sub> 75 SO <sub>4</sub> 13 Cl9 NO <sub>3</sub> 3/Ca 62 Mg32(Na+K)6

Солевой состав воды за все время наблюдений имеет устойчивый характер, тип воды – гидрокарбонатный кальциево-магниевый (по Курлову) меняется незначительно. Величина ЭПР варьирует в пределах 40 – 55 мS/m. Повышенная общая минерализация в 2000 г. объясняется поступлением с ливневыми стоками большого количества сульфатов; в настоящее время по сравнению с концом XX века доля сульфат-иона снизилась.

В большей степени изменчивы концентрации биогенных соединений: нитратного и аммонийного азота, минерального и общего фосфора, что связано со спадом и последующим ростом сельскохозяйственной нагрузки, с увеличением площади селитебной застройки.

Статистические характеристики содержания биогенных веществ во внутригодовом разрезе в маловодной серии лет представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Статистические характеристики концентраций биогенных веществ в отдельные годы в Донховке (Селихово), серия маловодных лет

Год	Показатель	Характеристики			
		Min	Max	Медиана	Среднее
2002	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0,01	0,07	0,04	0,04
	P-P <sub>общ</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	0,02	0,09	0,07	0,06
	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0,27	0,65	0,38	0,44
	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0,1	1,59	0,55	0,59
2015	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0,02	0,52	0,04	0,05
	P-P <sub>общ</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	0,05	0,23	0,08	0,1
	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0,11	0,67	0,33	0,34
	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0,21	0,41	0,32	0,32
2019	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0,02	0,36	0,04	0,09
	P-P <sub>общ</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	0,05	0,17	0,09	0,1
	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0,06	0,47	0,23	0,23
	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0,17	5,91	0,45	1,66

Среднегодовые содержания аммонийного азота в маловодные годы с конца прошлого века по настоящее время уменьшаются. Максимальные содержания нитратного азота возрастают почти в три раза. Большая разница в медианных и средних значениях его концентрации в 2019 г. свидетельствует о залповом сбросе загрязняющих веществ. Наблюдается тенденция возрастания среднегодовых концентраций соединений фосфора в 1,7-2,3 раза.

В таблице 3 показана динамика тех же биогенных веществ в реке в многоводные периоды в створе Селихово по отдельным годам.

Таблица 3 – Статистические характеристики концентраций биогенных веществ в отдельные многоводные годы в Донховке (число данных - таблица 1)

Год	Показатель	Характеристики			
		Min	Max	Медиана	Среднее
1998	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0,02	0,1	0,06	0,06
	P-P <sub>общ</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	0,08	0,15	0,09	0,1
	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0,19	1,14	0,57	0,6
	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0,54	2,27	0,93	1,11
2000	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0,02	0,08	0,04	0,05
	P-P <sub>общ</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	0,04	0,4	0,07	0,07
	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0,32	0,71	0,54	0,54
	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0,07	6,11	0,61	1,33
2013	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0,02	0,27	0,09	0,09
	P-P <sub>общ</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	0,08	0,38	0,12	0,17
	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0,61	1,56	1,09	1,08
	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0,22	1,08	0,52	1,61

В серии многоводных лет в 2013 году отмечается увеличение поступления в водоток соединений фосфора, среднегодовые концентрации которых по сравнению с периодом 1998-2000 гг. возросли в 1,5-1,7 раз. Значительная разница между средними и медианными значениями нитратного азота свидетельствует о его импульсном поступлении в русло.

Водосборный бассейн Донховки в своей средней части, от д. Марьино до южной околицы г. Конаково, приурочен к местам размыва в результате ледниковой деятельности юрских глин. Здесь известняки карбона залегают под моренными суглинками, что создает предпосылки разгрузки напорных водоносных горизонтов в вышележащие горизонты. Таким образом, питание грунтовых вод в долине Донховки связано с положительным перетеканием из межпластовых вод [1].

На участках, где размыты юрские глины либо имеются тектонические нарушения, происходит разгрузка вод верхнего и среднего карбона. Разгружаются воды клязьминского С<sub>3к1</sub>, касимовского С<sub>3к</sub>, подольско-мячковского С<sub>2рd-m</sub> водоносных горизонтов, а в отдельных местах – залегающих значительно глубже вод хлоридного типа.

Напорные воды верхнего и среднего карбона имеют низкую цветность, в них следовые количества нитратного азота, отмечаются повышенные концентрации аммонийного азота.

Разгружающиеся по берегам Донховки родники характеризуются водой умеренной жесткости, реже жесткой, имеют относительно повышенную минерализацию, содержат необходимые водной биоте микроэлементы [3].

В маловодные годы отсутствует сток с верховых болот, летом за счет испарения грунтовых вод и значительного летнего разбора воды из колодцев становится более заметным приток в русло водотока глубоких напорных вод, благодаря чему в воде Донховки снижается количество растворенных органических веществ. На рисунке показана динамика статистических характеристик цветности в описываемые годы.

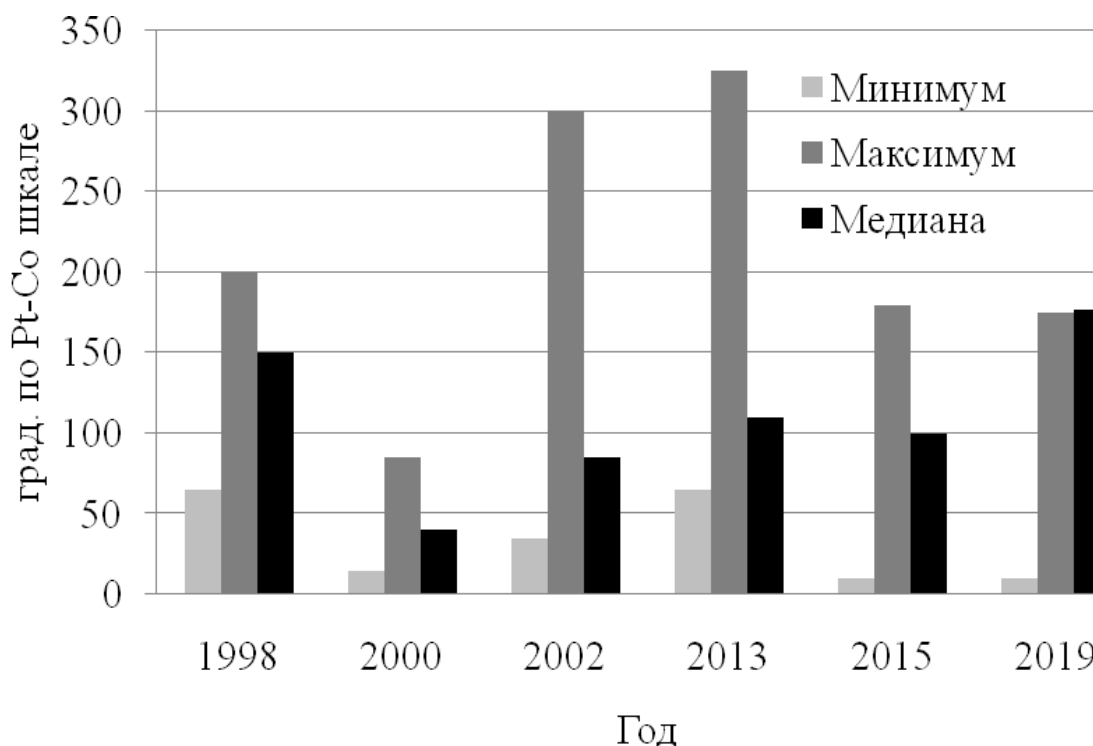


Рисунок – Многолетняя динамика статистических характеристик величин цветности в Донховке, створ Селихово, в отдельные годы

Минимальные цветности (10 – 15 град.) во внутригодовом разрезе свидетельствуют о том, что в маловодные годы на створе Селихово значительно возрастает приток подземных вод, что способствует улучшению качества речных вод.

Установлено, что химический состав вод реки Донховка за многолетний период (1998 – 2019 гг.) характеризуется устойчивым характером, относится к гидрокарбонатному кальциево-магниевому типу, несмотря на высокий уровень антропогенной нагрузки. Скорее всего, такая стабильность обусловлена тем, что часть водосбора реки приурочена к «гидрогеологическому окну»: поступающие в русло закрытым стоком напорные воды способствуют интенсификации процессов самоочищения воды.

В последние годы, когда зимой повысилась температура, участились оттепели, увеличилась сельскохозяйственная нагрузка на водосборной площади, возросло поступление с поверхностным и внутрипочвенным стоком биогенных веществ.

Почти трехкратная разница в медианных и средних за год значениях нитратного азота свидетельствует о его залповых поступлениях в реку.

В маловодные годы содержание аммонийного азота снижается, в многоводные – повышается почти в 1,8 раза. Это может быть связано с вымыванием из почв сельскохозяйственных угодий компонентов минеральных и органических удобрений, размыванием отстойников на животноводческих фермах водосборной площади Донховки.

Независимо от водности года по сравнению с концом прошлого века в воде Донховки увеличились среднегодовые концентрации минерального и общего фосфора в 1,5-2,3 раза, что указывает на дополнительный постоянный источник его поступления.

#### Список литературы

1. Всеволожский В.А. Основы гидрогеологии. Учебник. М., МГУ.1991. 351 с.
2. Ковалевский В.С. Комбинированное использование ресурсов поверхностных и подземных вод. М.: Научный мир, 2001. 332 с.
3. Лапина Е.Е., Ахметьева Н.П., Кудряшова В. В. Родники долины верхней Волги и ее притоков: условия формирования, режим, охрана. Тверь: ООО «Купол», 2014. 256 с.
4. Методы исследования качества воды водоемов // Новиков Ю.В. и др. М.: Медицина, 1990. 400 с.
5. Чекмарева Е.А. Влияние современных агрохолдингов на содержание биогенных элементов в водных объектах // Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах. Труды VI Всероссийского симпозиума с международным участием. Барнаул. 2017 г. С. 259-264.

# АНАЛИЗ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ ГИДРОБИОНТОВ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОГО ЗНАЧЕНИЯ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ В РАЗЛИЧНЫЕ СЕЗОНЫ

Н.М. Лапина

*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, lapina@vniro.ru*

Гидрохимические исследования в рамках работ по Государственному мониторингу водных биоресурсов и среды их обитания проводились в различные сезоны 2012-2018 гг. на следующих водных объектах рыбохозяйственного значения Московской области: Можайском, Истринском, Озернинском, Рузском и Химкинском водохранилищах, оз. Сенеж и оз. Муромское. Основной целью проводимых гидрохимических исследований этих водоёмов являлась оценка их экологического состояния, условий обитания водных биоресурсов и их изменений под воздействием природных и антропогенных факторов. В зимний период работы осуществлялись со льда, в остальные периоды года - с борта моторной лодки при постановке на якорь по намеченной сетке гидрологических станций.

В ходе исследований на каждой станции проводилось зондирование водной толщи от поверхности до дна гидрологическим зондом EXO2 (YSI Incorporated), снабженным датчиками давления (глубины), температуры, электропроводности и растворенного кислорода с возможностью непрерывного визуального контроля получаемых результатов. По результатам зондирования выявлялись особенности вертикальной структуры водной толщи и назначались горизонты отбора проб на химический анализ, минимально, с двух горизонтов - поверхностного и придонного. Пробы воды на химический анализ отбирались с помощью пластикового батометра VanDorn объёмом 5 л.

Гидрохимические лабораторные исследования включали определения концентраций следующих показателей: растворённого кислорода, ионного состава (гидрокарбонатов, хлоридов, сульфатов, натрия, калия, кальция, магния), органических и минеральных форм биогенных элементов (азота, фосфора и кремния), растворённого органического углерода, минерализации и общей жёсткости. Химический анализ проб произведён по стандартным аттестованным методикам согласно Руководству по химическому анализу морских и пресных вод..., 2003 [3].

В течение 2012-2018 гг. на водных объектах Московской области было выполнено 22 экспедиции в различные сезоны, во время которых на Можайском водохранилище было проведено 8 гидрохимических съёмок, на оз. Сенеж – 4 съёмки, на Истринском и Химкинском водохранилище – 3 съёмки, на Озернинском водохранилище и оз. Муромское – 2 съёмки, на Рузском водохранилище – 1 съёмка.

Контроль за содержанием гидрохимических показателей в воде водоёмов проводился в соответствии с нормативами предельно-допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного

значения - ПДК<sub>р/х</sub> [Приказ Минсельхоза РФ от 13 декабря 2016 г. № 552 с изменениями на 12 октября 2018 г.]. ПДК<sub>р/х</sub> были разработаны с целью сохранения условий существования гидробионтов, для которых вода является постоянной средой обитания и для целостности всей водной экосистемы, конечным пищевым звеном которой являются рыбы.

Анализ результатов проведенных зимних исследований в Озернинском вдхр. и оз. Сенеж показал, что в зимний период отсутствие активных продукционных процессов при низкой температуре воды и наличии ледового покрова, как правило, приводило к значительному недонасыщению водной толщи кислородом, величина которого не превышала 90 % на поверхности, снижаясь в придонном слое до 52 % и 10 % в Озернинском вдхр. и оз. Сенеж соответственно. Для распределения температуры воды была характерна зимняя стратификация, при которой, например, температура в Озернинском водохранилище у поверхности не превышала 0,1°C, а ко дну она увеличивалась до 1,5°C. Преобладание деструкционных процессов обусловило наличие в водоемах достаточно высокого содержания минеральных форм биогенных элементов во всей толще воды, которые также увеличивались ко дну.

В Можайском водохранилище (водоёме питьевого назначения) в зимний период были отмечены хорошие условия зимовки для гидробионтов. Окисление (минерализация) накопленного за вегетационный период запасов органического вещества (ОВ) не привело к значительному дефициту кислорода в придонных слоях. Увеличенная минерализация и повышенные концентрации основных ионов в воде были отмечены в придонных слоях и в местах втекания в водохранилище речных вод, то есть в областях, «питаемых» в зимнее время грунтовыми водами. В целом поступающие по русловой ложбине зимние речные воды постепенно адаптируются водохранилищем, и их содержание в водной толще в его нижней части существенно выравнивается. Биогенные элементы были представлены зимой преимущественно минеральной формой и достаточно равномерно распределены в водной толще (с небольшим увеличением ко дну). Единственным отклонением от нормы является зафиксированный на Красновидовском плесе приток органических веществ, предположительно связанный с поверхностным канализационным стоком. На активный процесс нитрификации здесь указывало максимальное содержание в воде органического азота (до 642 мкг/дм<sup>3</sup>) и несколько повышенное, по сравнению с фоном, содержание нитритного азота (7 мкг/дм<sup>3</sup>).

В осенний период на этом водохранилище удалось обнаружить накопление сероводородных донных вод в приплотинном створе водохранилища, дальнейший сброс которых в нижний бьеф мог оказывать неблагоприятное воздействие на гидробионтов р. Москвы в прилегающих к плотине участках русла. Насыщение воды кислородом в перемешанном слое, вследствие преобладания деструкционных процессов, составляло в среднем 80 %, а под слоем скачка на глубоководных станциях быстро падало до отметок близких к нулевым.

По ионному составу вод четко прослеживается поступление в Можайское водохранилище в придонных слоях более плотных речных вод, которые в зимний период имеют преимущественно грунтовое питание. Соответственно в этих водах отмечается повышенное содержание практически всех основных ионов: хлоридов (6,6-6,7 мг/дм<sup>3</sup>), сульфатов (10,7-11,6 мг/дм<sup>3</sup>), гидрокарбонатов (250-290 мг/дм<sup>3</sup>), натрия (5,8-6,3 мг/дм<sup>3</sup>), кальция (63-70 мг/дм<sup>3</sup>), магния (14,5-16,3 мг/дм<sup>3</sup>). Исключение составляют ионы калия - его содержание выше в поверхностных слоях, так как в водоем он поступает преимущественно со склоновым стоком с бассейна. Минерализация вод в придонных слоях водохранилища постепенно уменьшается от 403 мг/л в верховьях и до 309 мг/дм<sup>3</sup> к низовьям водохранилища, при этом в придонных слоях вода умеренно жесткая (3,7-4,9°Ж), а в поверхностных – повсеместно мягкая (2,0-3,0°Ж). В целом условия для обитания гидробионтов в Можайском водохранилище были благоприятные.

Исследования в период становления прямой стратификации вод для естественных водоемов были проведены в конце мае на Истринском и Рузском водохранилищах. Особенностью вертикальной структуры водной толщи здесь явилась его двухслойность: верхний слой от поверхности до 5-6 м представлял из себя слой скачка около 10 °С, нижний слой – водная масса с характеристиками этапа весенней гомотермии. При этом верхний слой уже был охвачен активными фотосинтетическими процессами, в то время как в нижнем слое, отсеченном мощным термоклином, условия насыщения воды кислородом были достаточно неблагоприятные – повсеместно ниже 40 % насыщения и при этом содержание минеральных форм биогенных элементов в придонных слоях выше, чем в поверхностных. Однако их распределение вдоль упомянутых водохранилищ имеет одну характерную особенность – выравнивание содержания в толще вод основных биогенных элементов происходит ближе к плотине, где еще доминируют перемешанные весной водные массы водохранилища периода гомотермии, в то время как в верховьях различия более заметны, вследствие сильного влияния притока вод половодья.

Важно отметить, что весенние параметры фиксируют уровень зимних запасов минеральных форм биогенных элементов в толще вод, необходимых для синтеза фитопланктоном первичного ОВ, как основы для всех последующих продукционных процессов. Кроме того, они отражают параметры поступающей в водоем с талыми водами весенней воды в начальной стадии ее смешения с зимними водами водохранилища. В то время как позднелетние характеристики в свою очередь определяют состояние водоема на стадии завершения вегетационного периода перед переходом к стадии осеннего перемешивания (гомотермии) и новому годовому циклу.

Исследования на оз. Сенеж подтвердили его хроническую проблему. При слабом водообмене и значительной антропогенной нагрузке со стороны городского хозяйства г. Солнечногорска, в относительно глубоких частях затопленной русловой ложбины р. Мазихи создаются условия для развития гипоксии. Весной 2015 г. в этом озере, из-за низкого уровня воды создалась неблагоприятная ситуация с кислородным режимом, при которой наличие

гипоксии в придонных слоях (концентрации растворенного кислорода опускались до  $0,3 \text{ мг/дм}^3$ ) и высокое содержание органических веществ в донных осадках ухудшило кислородный режим и как следствие - создались неблагоприятные условия для обитания водных биоресурсов (объектов любительского рыболовства).

В оз. Муромское (приемном водоёме для теплового стока Шатурской ГРЭС) отмечены благоприятные условия для обитания гидробионтов. Содержание биогенных элементов в его водах подтверждал сбалансированный продукционно-деструкционный процесс в водоеме, чему способствует оптимально подобранный режим водообмена в этом водоеме, все гидрохимические показатели в нем были в норме и не превышали ПДК<sub>р/х</sub>.

Гидрохимические исследования Химкинского водохранилища, являющегося накопителем значительного количества промышленных и коммунальных стоков самого различного происхождения г. Москвы проводились в различные сезоны 2013-2017 гг. Результаты исследований показали, что самой большой антропогенной нагрузке подвержен Бутаковский залив этого водохранилища (рисунок).

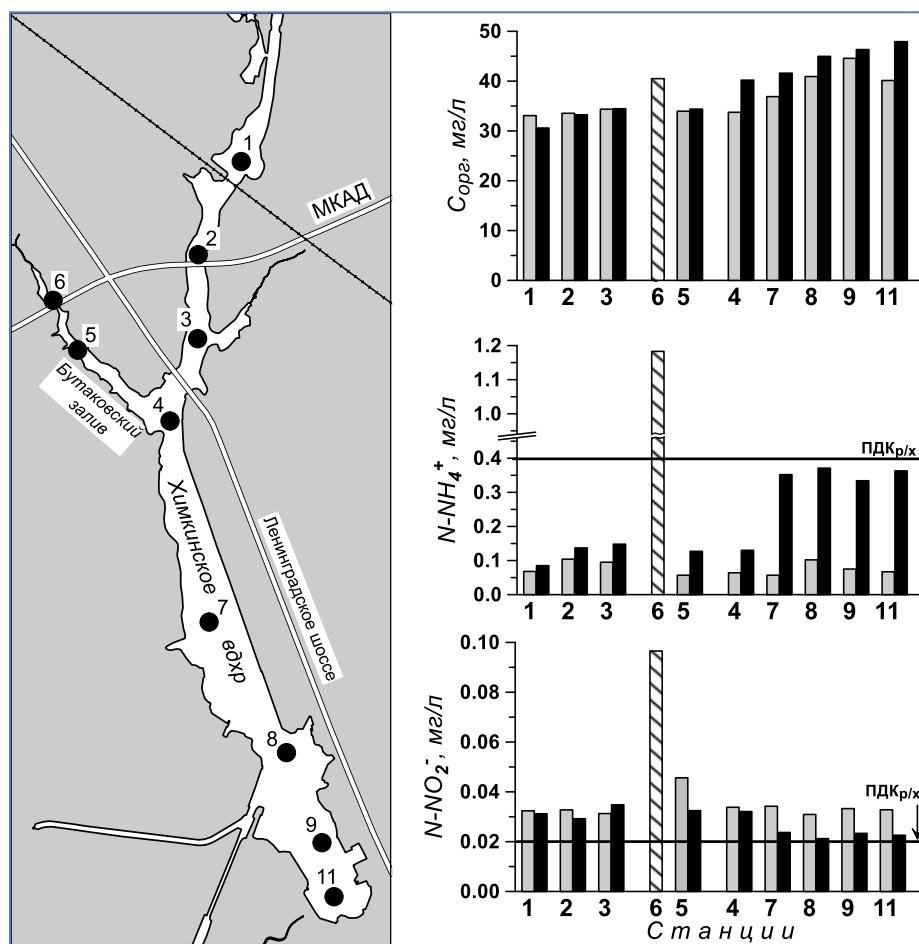


Рисунок – Схема расположения гидрологических станций и содержание органического углерода ( $C_{орг}$ ,  $\text{мг/дм}^3$ ), аммонийного ( $N-NH_4^+$ ,  $\text{мг/дм}^3$ ) и нитритного ( $N-NO_2^-$ ,  $\text{мг/дм}^3$ ) азота в водах Химкинском водохранилища в мае 2017 г.



Здесь по ряду химических показателей, таких как аммонийный азот, нитритный азот, фосфаты было зафиксировано превышение рыбохозяйственных нормативов ПДК (ПДК<sub>рх</sub>) в 5-15 раз во все сезоны. Подобные сбросы загрязнений приводят к активному процессу нитрификации и связанному с ним значительному потреблению из воды кислорода, что в короткий период создаёт условия гипоксии на прилегающих участках с последующей гибелью гидробионтов. Также в этом водохранилище отмечены самые высокие концентрации органического вещества, концентрации её интегрального показателя - растворенного органического углерода достигали 47,7 мг/дм<sup>3</sup> (рисунок).

Ионный состав вод во всех водных объектах соответствовал сезону и по классификации О.А. Алекина [1] исследованные воды водохранилищ относились к гидрокарбонатному классу кальциевой группы с минерализацией, колеблющейся от 200 до 300 мг/дм<sup>3</sup>.

В целом многолетние исследования в разные сезоны, проведённые на вышеперечисленных водоёмах, позволили не только зафиксировать текущее состояние водных объектов, но и своевременно отмечать различные тенденции в их развитии. Большинство исследованных водных объектов можно отнести к водоёмам с благоприятной экологической обстановкой и хорошими условиями для обитания рыб, исключение составляет Химкинское водохранилище.

#### Список литературы

1. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 444 с.
2. Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».
3. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана. М.: Изд-во ВНИРО, 2003. 202 с.

## ВЛИЯНИЕ НАВОДНЕНИЙ НА МИГРАЦИОННУЮ АКТИВНОСТЬ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ, ПОСТУПАЮЩИХ В ВОДОТОКИ С УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

А.Н. Махинов<sup>1</sup>), А.Ф. Махинова<sup>1</sup>), В.И. Ким<sup>1</sup>), Liu Shuguang<sup>2</sup>)

<sup>1</sup>)Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск, Россия, amakhinov@mail.ru

<sup>2</sup>)Университет Туңцзи, Шанхай, Китай, liusgliu@tongji.edu.cn

Крупные наводнения, как опасные природные явления, относятся к числу важнейших стратегических рисков России. На Амуре они случаются один раз в 15-20 лет. Быстрый подъем уровня воды в Амуре сопровождается деформацией берегов, подтоплением сельскохозяйственных земель и городских территорий [3]. В паводки существенно увеличивается мутность воды, сток терригенных и химических веществ. Происходит размыв почвы и перераспределение загрязняющих веществ в пойме Амура. Активность русловых процессов и сток с урбанизированных территорий способствуют загрязнению рек.

С 2009 года река Амур вступила в фазу высокой водности. Характерная для нее активность русловых процессов оказывает большое влияние на миграцию химических компонентов в почвенном пространстве поймы. Миграционная активность элементов (МАЭ) в период паводков также увеличивается. Процессы растворения и миграции элементов в составе геохимических потоков способствуют загрязнению почв и водотоков.

Особое влияние на геохимические потоки и качество воды в Амуре оказывают заболоченные территории и сельскохозяйственные земли. При затоплении болот в реки поступает большое количество органических веществ. Агрессивные фракции органических кислот растворяют минеральные соединения удобрений и способствуют процессам их миграции. Подтопление больших площадей промышленных зон являются причиной загрязнения почв тяжелыми металлами. В поймах рек формируются наилки, являющиеся почвенно-геохимическими барьерами с высоким уровнем концентрирования загрязняющих веществ [9]. Негативные последствия этих природных явлений обостряют экологические проблемы в регионе, требующие решения.

Цель исследований заключалась в оценке влияния наводнений на миграционную активность элементов, поступающих с урбанизированных территорий в реку Амур и вызывающих ее загрязнение.

Исследования проводились в нижнем течении реки Амур после крупного паводка 2013 г. на пяти ключевых участках. Образцы воды и почв проанализированы общепринятыми методами в аналитическом центре коллективного пользования ИТИГ ДВО РАН [1, 2].

*Водный режим и сток наносов.* Река Амур имеет ярко выраженную многолетнюю изменчивость стока воды и наносов. Катастрофические паводки, резкие сезонные колебания уровней воды и многорукавность русла влияют на МАЭ, состав и интенсивность почвенно-геохимических потоков в долине реки.

Максимальная скорость течения воды в паводок 2013 г. достигала 4,5 м/с. Выход воды на пойму сопровождался уменьшением ее скорости до 2,0 м/с при глубине потока 1,8 – 2,5 м и интенсивными процессами аккумуляции в пойме [3, 6]. В ее прибрежной части формировались гряды и прирусловые валы, вытянутые вдоль направления водных потоков до 200 м (рисунок), а мощность отложений достигала 1,7 м.

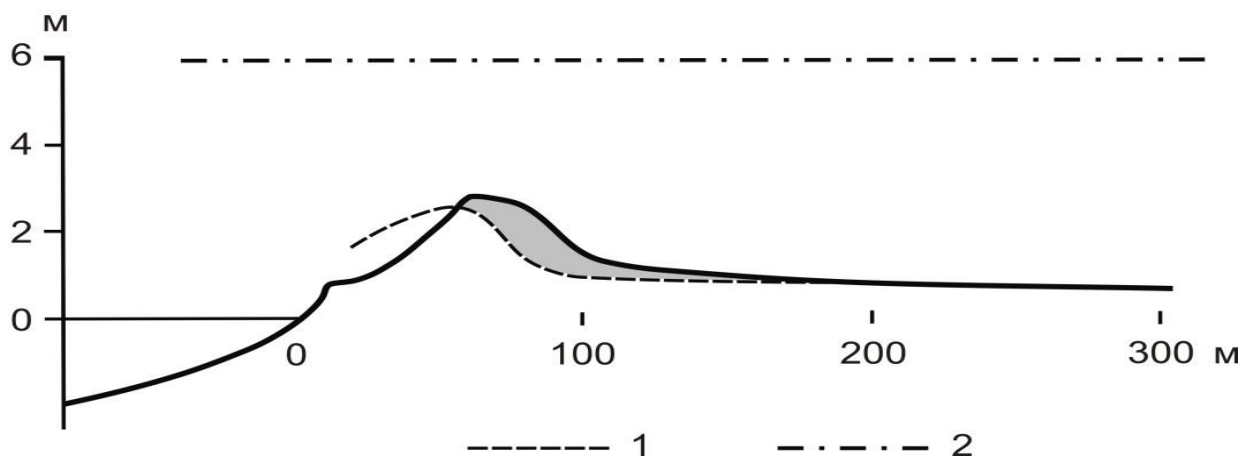


Рисунок – Изменение прируслового вала р. Амур в районе с. Малмыж в результате паводка 2013 г. 1-поверхность поймы до наводнения, 2-уровень максимального затопления поймы

Природные особенности водосборной площади реки обуславливают высокую мутность воды в паводки, вследствие большого количества наилкового материала, тонкодисперсных фракций ила и органического вещества в воде. Содержание взвешенных веществ достигает 400 мг/дм<sup>3</sup>. Наилковый материал накапливается на пойме, преимущественно в ложбинах и понижениях (таблица 1).

Наилки оказывают большое влияние на физико-химические свойства почвенного пространства. Разложение биологической составляющей наилок способствует образованию агрессивных фракций фульвокислот, которые выщелачивают первичные минералы и приводят к образованию полуторных окислов ( $R_2O_3$ ) и органо-минеральных соединений. При высоких концентрациях оксидов железа ( $Fe_2O_3$ ) происходит их сегрегация в железистые конкреции [7].

Длительность паводка и высокое содержание терригенного материала интенсифицируют геохимические процессы и миграционную активность элементов в пойменных почвах и способствуют возникновению геохимических потоков.

*Геохимические преобразования в почвах.* Большая продолжительность стояния паводковых вод на пойме, обогащенных кислородом, и перенос значительных объемов терригенного материала вследствие размыва берегов способствуют перераспределению концентраций элементов и их выносу водным потоком на обширные территории пойм.

Таблица 1 – Характеристика отложений в пойме Амура и Уссури после паводка 2013 г.

Характеристика поймы				Характеристики паводка		Масса наносов т/км <sup>2</sup>
Зоны наносов	Формы рельефа	Средняя высота, м	Мощность аллювия, м	Высота, м	Дни	
Приусловая пойма до 10 м	Приусловые валы	1-1,7	0,25-1,50	2-3	43	8900
Приусловая пойма до 300 м	Шлейфы	0,5-1,0	0,10-1,20	2-3	48	2040
	Ложбины	-(1-2)	0,05-1,50	3-5	74	2780
Центральная пойма	Понижения	-(2-3)	0,05-0,20	3-4	112	750
	Центральная часть	0,5-1,5	0,01-0,05	3,5-5	87	800
	Гряды и релки	2-6	0,10-0,50	1-3	38	50890
Приусловая пойма Уссури до 200 м	Вытянутые гряды	3,5-6	0,30-0,65	2-5	40	10900
	Ложбины	-(1-3)	-	3-4	80	15900

Пространственная изменчивость концентраций элементов оценивалась с помощью коэффициентов ( $K_j$ ), определяемых как отношение их содержаний в верхнем слое почв на глубине 0-30 см относительно фона. Выделено 3 типа уровней концентраций элементов: 1) а - уровни накопления элементов ( $K_j > 1,1$ ); 2) f - уровни соответствия концентраций элементов их региональному фону ( $0,7 < K_j < 1,1$ ); 3) d - уровни дефицита элементов ( $K_j < 0,7$ ) [9]. Микроэлементы, концентрации которых превышали чувствительность спектрального анализа, были использованы в качестве индикаторов химического загрязнения почвы и воды.

Уровни концентраций химических элементов в почвенном пространстве поймы определяют состояние их рассеяния, функционально согласуются с их миграционной активностью и являются показателем геохимических преобразований [8]. Наводнение активизирует процессы растворения, обмена и явления сорбции, что способствует концентраций элементов и формированию почвенно-геохимических потоков [4].

Анализ состояния пойменных почв, подвергшихся затоплению в 2013 году, показал высокое содержание ТМ относительно фона в 2014 году с некоторым его снижением в последующие годы. Полученный материал свидетельствует об обогащении почвенного пространства такими элементами как Ва, Рb, Zn, Fe, Mn и их определенной корреляции с тонкими фракциями органического материала наилоков (таблица 2).

Геохимические преобразования в пойме контролируются содержанием фоновых элементов в почвах и потенциалом фракций органических веществ

наилков. При разбавлении почвенных растворов паводковыми водами фоновобразующие элементы {Fe-Mn проявляют различные свойства и по-разному взаимодействуют с молекулами почвенного раствора.

Таблица 2 – Качественный состав наилка наводнения 2013 г. в пойме Амура

Район исследования в пойме	рН вод	С орг, %	Уровни миграционной активности	Валовое содержание микроэлементов в наилках							
				%		в мг/кг					
				Fe	Mn	Ba	Zn	Pb	Cu	Co	Ni
Остров Б.У <sup>1</sup> Прирусловые валы, ложбины	5,9	8,6	a{Ba,Pb,Zn,	<b>4,80</b>	<b>0,08</b>	<b>1578</b>	<b>69,9</b>	28,3	1,7	19,3	10
	6,3	2,3	f{Fe,Mn,Sr,Co o d{Ni,Cu,Co	1,41	0,04	1430	29,9	32,5	сл.	16,4	сл
Район КнаА <sup>2</sup> Релки, шлейфы	6,0	4,1	a{Fe,Ba,Zn,P	4,16	0,07	1560	66,8	28,2	5,8	21,6	12
	6,2	2,1	b f{Mn,Ni,Sr,Co o d{Mn,Cu,Ni	2,60	0,06	1410	54,5	27,2	1,5	15,5	9
Остров В.Б <sup>3</sup> Валы и гряды, понижения	6,1	3,1	a{Fe,Mn,Ba,	3,20	0,08	<b>1630</b>	<b>72,3</b>	<b>32,3</b>	<b>7,8</b>	<b>30,0</b>	<b>16</b>
	6,4	1,8	Pb f{Pb,Mn,Zn, Srd{Sr,Ni,Cu ,Co	1,30	0,04	1230	35,4	31,1	сл	19,0	сл
Кларки элементов(лито) Виноградов,1962				4,65	0,85	650	50	10	20	80	58
Примечание: *С <sub>орг.</sub> определено по методу И.В. Тюрина в наилках (аналитик С.И. Левшина); **Валовое содержание макро, микроэлементов – на спектроскане № 835 (Lif200) (аналитик К.В. Уткина); Острова: Б.У. <sup>1</sup> – большой Уссурийский, В.Б. <sup>3</sup> – Волчь-Бача, КнаА <sup>2</sup> – Комсомольск-на-Амуре											

Например, при невысокой концентрации водородных ионов (рН>6,0) механизмы помимо ионного обмена могут приобретать окислительный характер. Чаще всего процессы окисления и сорбции проявляются на коллоидно-дисперсных наилках с образованием комплексных катионов [FeHSO<sub>4</sub>]<sup>+</sup>, [FeHSO<sub>4</sub>]<sup>2+</sup>, [CuHSO<sub>4</sub>]<sup>+</sup>, которые при большой продолжительности наводнения могут испытывать гидролизные превращения по схеме: [AHSO<sub>4</sub>]<sup>2+</sup>+H<sub>2</sub>O→[A(OH)SO<sub>4</sub>]<sup>+</sup>+2H<sup>+</sup>.

Избыток воды в почве способствует диссоциации соединений макроэлементов с проявлением их низшей валентности Fe<sup>2+</sup> и Mn<sup>(2-5)+</sup> [5, 10]. Находясь в гидратированном состоянии с увеличением концентраций водородного иона (рН<5,5), железо и марганец способны к образованию комплексных гетерополярных солей [2]. Эти явления обычно возникают в верхнем обводненном слое почвенного пространства при воздействии растворимых фракций органических кислот наилкового аллювия. Углеродсодержащие центры растворимых органических кислот связывают Fe<sup>2+</sup> и Mn<sup>(2-5)+</sup> в органо-минеральные комплексы, понижая их концентрацию в почвенном растворе [10]. При размыве почвы паводочной волной, содержащей органические коллоиды в дисперсных глинистых минералах взвесей, возможно

изоморфное гетеровалентное замещение  $\{Mn^{7+}, Al^{3+} \rightarrow Fe^{3+}$  с образованием слабого заряда на поверхности. Большие концентрации взвесей с отрицательно заряженными микрочастицами сорбируют ТМ.

По результатам проведенного исследования выделено три типа миграционных потоков, оказывающих загрязняющее влияние на Амур и его притоки. 1. Аккумуляция и переотложение терригенного и органического материала на пойме; 2. Формирование аккумулятивных форм руслового рельефа; 3. Плоскостной смыв, возникающий при затоплении и подтоплении болот, городских территорий и сельскохозяйственных земель.

Явление сольватация  $\rightarrow$  сорбция приводит к снижению мутности и концентрации полиэлементов в верхних слоях водного потока на пойме. Высокое содержание органических взвесей в воде в период наводнения при затоплении сельскохозяйственных земель способствует растворению минеральных удобрений и загрязнению водотоков. Загрязнение почв и водотоков происходит также при подтоплении территорий животноводческих комплексов. Загрязняющие вещества поступают в Амур с ливневым стоком с городской территории Хабаровска.

*Исследования поддерживаются фондом РФФИ в рамках международного проекта BRICS 2019-243.*

#### Список литературы

1. Бельчикова Н.П. Определение гумуса почв по методу И.В. Тюрина // Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. С. 56-62.
2. Варшал Г.М., Велюханова Т. К., Кощеева И.Я. Геохимическая роль гумусовых кислот в миграции элементов // Гуминовые вещества в биосфере. М.: Наука, 1993. С. 69-79.
3. Махинов А.Н., Liu Shuguang. Формирование рельефа русел и берегов рек. Хабаровск: ДВО РАН, 2013. 174 с.
4. Махинова А.Ф., Махинов А.Н. Ермошин В.В. Основные геохимические потоки в ландшафтах бассейна р. Амур (в пределах российской территории) // Геохимия ландшафтов и география почв: Докл. всерос. научн. конф. (к 100-летию М.А. Глазовской) М., 2012. С. 215-218.
5. Труфанов А.И. О миграции железа и марганца в зоне гипергенеза юга Дальнего Востока // Природные зоны юга Дальнего Востока / Вопросы географии Дальнего Востока. Хабаровск: ХабКНИИ, 1975. Сб. 15. С. 147-154.
6. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 608 с.
7. Шустов С.Б., Шустова Л.В. Химические основы экологии М.: Просвещение, 1995. 240 с.
8. Makhinova A.F., Makhinov A.N., Kuptsova V.A., Yermoshin V.V. Geochemical differentiation of soil in the Amur Basin (Russian Part) // Journal of Geochemical Exploration. Vol. 45. No. 6. 2013. P. 89-98.
9. Makhinova A.F., Makhinov A.N., Kuptsova V.A., Liu Shuguang, Yermoshin V.V. Landscape-Geochemical Zoning of the Amur Basin (Russian Territory) // Journal of Pacific Geology. Vol.33. No. 2. 2014. P. 76-89.
10. Senesi N., Loffredo E. Metal Iron Complexation by Soil Humic Substance // Chemical Processes in Soils. Madison: Soil Science Society of America, 2005. P. 563-617.

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ БИОГЕННОЙ НАГРУЗКИ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В ПРЕДЕЛАХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Е.А. Минакова<sup>1)</sup>, А.П. Шлычков<sup>2)</sup>, С.А. Кондратьев<sup>3)</sup>, А.Ю. Брюханов<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>*Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань,  
ekologyhel@mail.ru*

<sup>2)</sup>*Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, Казань,  
anatoliy.shlychkov@yandex.ru*

<sup>3)</sup>*Институт Озероведения РАН, Санкт-Петербург, kondratyev@limno.org.ru*

<sup>4)</sup>*Институт инженерных и агроэкологических проблем сельскохозяйственного  
производства, Санкт-Петербург, sznii@yandex.ru*

Куйбышевское водохранилище – многоцелевое водохранилище, обеспечивающее сезонное регулирование стока реки Волги. Водоохранилище используется в интересах ряда отраслей экономики: промышленности и энергетики, питьевого и бытового водоснабжения, здравоохранения, сельского хозяйства, рыбного, лесного и охотничьего хозяйства, добычи полезных ископаемых, транспорта, отдыха, строительства, пожарной безопасности и т. д. Качество воды Куйбышевского водохранилища формируется как под влиянием транзитных перевозок загрязняющих веществ из подконтрольных субъектов Российской Федерации, так и за счет сброса недостаточно очищенных сточных вод промышленных и коммунальных предприятий и поверхностного стока из городских районов. В последние годы темпы заиления и «цветения» вод Куйбышевского водохранилища, вызванные процессами эвтрофикации, многократно возросли. Основной движущей силой процессов эвтрофикации водоемов являются биогенные элементы (соединения азота и фосфора). Чрезмерное количество биогенных элементов вызывает процессы чрезмерного роста водной растительности и ухудшения качества воды [4].

Основными антропогенными источниками, загрязняющими биогенными веществами Куйбышевское водохранилище, являются организованные источники (промышленные и коммунальные сбросы), а также неорганизованные (диффузные) источники (животноводческие фермы, сельскохозяйственные угодья, поверхностный сток с урбанизированных территорий) и аэротехногенное загрязнение [5-7].

В качестве пилотных объектов исследования выбраны реки Свияга (площадь водосбора составляет 9421 км<sup>2</sup> для створа Буинск), Казанка (2519 км<sup>2</sup> для створа Казань). Указанные объекты расположены на территории Приволжского федерального округа Российской Федерации в Республике Татарстан. Все изучаемые реки относятся к категории средних равнинных рек с площадями водосборов от 2000 до 50000 км<sup>2</sup>. Выбор именно этих рек в качестве пилотных объектов объясняется следующими причинами [8]:

– водосборы рек расположены в различных физико-географических районах;

– водосборы рек расположены в различных ландшафтных подзонах;

– гидрологические и почвенно-геологические условия на водосборах существенно различаются;

– источники антропогенного воздействия на водосборах также существенно различаются.

Алгоритм расчета суммарного выноса биогенных элементов с водосбора и формирования биогенной нагрузки на водоем выполнялся на основе модели ILLM (Institute of Limnology Load Model), разработанной в Институте озероведения РАН (ИНОЗ РАН) [3, 9].

Модель разработана с учетом отечественного и зарубежного опыта моделирования стока и выноса химических веществ с водосборных территорий [2, 10], а также рекомендаций ХЕЛКОМ по оценке нагрузки на водные объекты бассейна Балтийского моря [11]. Модель учитывает вклад точечных и рассредоточенных источников в формирование биогенной нагрузки на водосбор, позволяет рассчитывать вынос примесей с водосбора с учетом влияния гидрологических факторов и удержания биогенных веществ водосбором и гидрографической сетью. Конечным итогом моделирования является количественная оценка среднегодового выноса биогенных веществ с водосбора и отдельных его составляющих, в том числе и диффузного выноса (диффузного загрязнения).

В общем виде в принятой схеме расчета основными составляющими внешней нагрузки валовых форм азота и фосфора на водный объект ( $L$ ) являются рассредоточенная эмиссия биогенных элементов подстилающей поверхностью, не подверженной в настоящее время сельскохозяйственному воздействию ( $L_e$ ), нагрузка, сформированная в результате сельскохозяйственной деятельности ( $L_{agr}$ ), сбросы точечных источников загрязнения в гидрографическую сеть водосбора ( $L_{p1}$ ) и непосредственно в водоем водоприемник ( $L_{p2}$ ), а также массообмен с атмосферой ( $L_a$ ) [1, 2, 3]:

$$L = (L_e + L_{agr} + L_{p1} + L_a)(1 - k_r) + L_{p2}, \quad (1)$$

где  $k_r$  – коэффициент удержания вещества водосбором и его гидрографической сетью. Все члены уравнения (1) имеют размерность т/год, кроме безразмерного коэффициента  $k_r$ .

Значения параметров модели, полученные для Свияги, были использованы для расчета нагрузки на водохранилище с правобережной части водосбора. Параметры экспорта из водосбора Казанка позволили оценить левобережную питательную нагрузку на водохранилище. Расчеты проводились в предположении, что интенсивность увеличения сельскохозяйственной нагрузки пропорциональна росту площадей открытого поля, определенных данными спутниковых снимков. Помимо оценки общего удаления азота и фосфора были рассчитаны его естественная (фоновая) и диффузная (антропогенная) составляющие [12].

Калибровка метода проводилась для периода 2008-2016 гг. на основе



средних значений экспорта азота и фосфора, рассчитанных с использованием данных гидрохимического мониторинга на реке Свияга на Буинском участке и на реке Казанка на Казанском участке. Средний экспорт общего азота и фосфора с пилотных водосборов, рассчитанный по данным государственного мониторинга Росгидромета, составил 1416,8 т/год N и 63,1 т/год P для водосбора Свияги и 444 т/год N и 23 т/год P для водосбора Казанки.

Выполнена ориентировочная оценка биогенной нагрузки на Куйбышевское водохранилище, сформированной на левобережной и правобережной частях водосбора в современных условиях. Рассчитанные значения суммарной нагрузки на водохранилище составили 40559 т/год N и 1496 т/год P для условий средней водности. Вклад левобережной части – около 69 % по фосфору и 73 % по азоту от значения суммарной нагрузки.

Вклад диффузного (антропогенного) компонента нагрузки в общую биогенную нагрузку на Куйбышевское водохранилище от водосбора очень велик (85-95 % от общей нагрузки). Значительную роль диффузного стока в формировании качества вод Куйбышевского водохранилища следует учитывать при принятии управленческих решений на водосборе.

Настоящее исследование выполнено в рамках Национального приоритетного проекта "Сохранение и предотвращение загрязнения реки Волги" (утв. президиумом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и приоритетным проектам, протокол от 30.08.2017 N 9) по теме 3.4. «Разработка Концепции по снижению поступления загрязняющих веществ с естественных ландшафтов, селитебных территорий, земель сельскохозяйственного значения, промышленных площадок предприятий, предприятий животноводческого комплекса, полигонов захоронений и свалок, объектов транспортной инфраструктуры». Работы проводились Институтом озераведения РАН (ИНОЗ РАН) совместно со специалистами Казанского Федерального Университета (КФУ) и Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП-филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ).

#### Список литературы

1. Брюханов А.Ю., Кондратьев С.А., Васильев Э.В., Минакова Е.А., Терехов А.В., Обломкова Н.С. Оценка сельскохозяйственной биогенной нагрузки, сформированной на речных водосборах бассейна Куйбышевского водохранилища // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2018. № 96. С. 175-186.
2. Кондратьев С.А. Формирование внешней нагрузки на водоемы: проблемы моделирования. СПб.: Наука, 2007. 253 с.
3. Кондратьев С.А., Шмакова М.В. Математическое моделирование массопереноса в системе водосбор – водоток - водоем. СПб.: Нестор-История, 2019. 246 с.

4. Куйбышевское водохранилище (научно-информационный справочник) / Отв. ред. Г.С. Розенберг, Л.А. Выхристюк. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2008. – 123 с.
5. Минакова Е.А., Мелквист А.Ю., Мухаметшина Е.Г., Шлычков А.П., Сушкова А.В. Оценка антропогенной нагрузки предприятий на водные объекты Республики Татарстан // Экология и промышленность России. - 2013. № 6 – С. 39 - 41.
6. Минакова Е.А., Шлычков А.П., Латыпова В.З. Распределение антропогенной нагрузки, обусловленной внесением минеральных удобрений на территории Республики Татарстан // Проблемы региональной экологии. - 2013. № 2 - С. 30 – 33.
7. Минакова Е.А., Шлычков А.П. Выпадения биогенных веществ с атмосферными осадками в бассейне Средней и Нижней Волги // Проблемы региональной экологии. 2018. № 6. С. 92-97.
8. Минакова Е.А., Шлычков А.П., Латыпова В.З., Давыдов Р.Н., Ильясова А.Р. Формирование качества поверхностных вод малых рек в различных физико-географических районах Республики Татарстан // Проблемы региональной экологии, № 5. 2012. С. 7 - 13.
9. Поздняков Ш.Р., Кондратьев С.А., Брюханов А.Ю., Минакова Е.А., Игнатьева Н.В., Шмакова М.В., Иванова Е.В., Обломкова Н.С., Терехов А.В. Оценка биогенной нагрузки на Куйбышевское водохранилище со стороны водосбора // География и природные ресурсы – 2019. - № 3. - С. 67 - 76.
10. Behrendt H., Dannowski R. Nutrients and heavy metals in the Odra River system. Germany: Weissensee Verlag Publ., 2007. 337 p.
11. Guidelines for the compilation of waterborne pollution to the Baltic Sea (PLC-water). HELCOM. Helsinki, 2005. 80 p.
12. Kondratyev S.A. Model-Based Assessment of Nutrient Load into Water Bodies from Different Landscape Types // S.A. Kondratyev, N.V. Ignatyeva, M.V. Shmakova, A.A. Ershova, E.A. Minakova, A.V. Terekhov In: Landscape Modelling and Decision Support "Innovations in Landscape Research" CHAM, Switzerland, 2020. P. 299-310.

## ДИНАМИКА УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД НА ТЕРРИТОРИИ ФЕДЕРАЛЬНЫХ ОКРУГОВ

И.П. Ничипорова, Е.Е. Лобченко

*Гидрохимический институт, Ростов-на-Дону, Россия, info@gidrohim.com*

Проблема оценки и динамики качества поверхностных вод в настоящее время имеет не только особую актуальность с научной точки зрения, но приобретает в последние десятилетия острый социально-экономический и политический характер. Эти обстоятельства обусловлены возрастанием роли антропогенных факторов, связанных с увеличивающимся водопотреблением промышленностью, сельским хозяйством, населением, а также заметными изменениями глобального и регионального климата.

Территория Российской Федерации охватывает различные физико-географические зоны, в некоторых из них произошли или прогнозируются на перспективу значительные изменения климата. Особая актуальность оценки и динамики качества поверхностных вод связана с угрозой ухудшения экологической ситуации в стране. Причиной ухудшения качества поверхностных вод является в первую очередь развитие топливно-энергетических комплексов (преимущественно в восточной части страны), различных видов промышленности: нефте-, газодобывающей, металлургической, химической, нефтехимической, целлюлозно-бумажной и др.

Экологическое состояние поверхностных вод усугубляется отсутствием или недостаточно эффективных на многих предприятиях современных очистных сооружений; сбросом неочищенных ливневых стоков с территорий крупных промышленных городов и сельскохозяйственных территорий. Источниками вторичного загрязнения поверхностных вод являются взвешенные вещества, накопившиеся донные отложения, в которых сосредоточено большое количество различных загрязняющих веществ, в том числе и токсичных.

Увеличивающаяся антропогенная нагрузка сточными водами предприятий различной направленности, жилищно-коммунального хозяйства, поверхностным стоком с сельскохозяйственных и селитебных территорий, а также увеличение водоемких технологий в производственных процессах, с одной стороны, а также износ оборудования на предприятиях очистки сточных вод, с другой стороны, и, как следствие этого, повышение аварийности на очистных сооружениях оказывают негативное воздействие на качество поверхностных вод.

Угроза ухудшения экологической ситуации также связана с несовершенством законодательной основы природоохранной деятельности, отсутствием или ограниченным использованием природосберегающих технологий.

Одной из главных задач мониторинга поверхностных вод является ежегодный анализ и оценка на его основе качества воды, тенденции и динамики

загрязненности и состояния поверхностных вод Российской Федерации, обеспечение органов государственной власти, заинтересованных различных ведомств и населения страны на регулярной основе, выявление распространенности хронического характера загрязненности воды водных объектов крупнейших речных бассейнов на территории федеральных округов и субъектов РФ, основных закономерностей и тенденций изменения концентраций приоритетных загрязняющих веществ в поверхностных водах, испытывающих влияние длительного антропогенного воздействия.

Средоточие на территории практически всех Федеральных округов многочисленных предприятий различных видов промышленности, сбрасывающих в водные объекты неочищенные и недостаточно-очищенные сточные воды, содержащие громадное количество загрязняющих веществ различной степени токсичности, обуславливает значительное антропогенное влияние на качество водных объектов.

**Центральный федеральный округ (ЦФО).** На территории ЦФО расположены водные объекты, относящиеся к бассейнам Волги, Оки, Дона, Днепра и Западной Двины. В округе сохраняется напряженная экологическая ситуация на водных объектах Владимирской, Московской, Рязанской, Тульской областей, где большинство водных объектов характеризуется водой низкого 4 класса качества в основном, как «грязная». Большинство водных объектов Белгородской, Брянской, Воронежской, Ивановской, Калужской, Костромской, Липецкой, Орловской, Рязанской, Смоленской, Тамбовской, Тверской, Ярославской оцениваются 3 классом качества – «загрязненные» или «очень загрязненные» [1].

В Московской области р. Воймега, г. Рошаль и р. Рожая, с. Домодедово на протяжении ряда лет характеризуются крайне низким качеством воды – 4-м классом – «очень грязная», или 5-м классом – «экстремально грязная», в которых содержание органических веществ, аммонийного и нитритного азота, фосфора фосфатов в отдельные годы достигало критического уровня.

**Северо-Западный федеральный округ (СЗФО).** Водные объекты округа относятся к бассейнам Невы, Северной Двины. Для региона характерно наличие многочисленных озер, в том числе крупнейших в Европе – Ладожского и Онежского. Экономика округа имеет большую сырьевую направленность.

В Северо-Западном федеральном округе в многолетнем плане большинство водных объектов характеризовалось удовлетворительным классом качества воды («загрязненная» или «очень загрязненная» вода).

Наиболее высоким уровнем загрязненности характеризуются водные объекты Вологодской области, где преобладают реки, воды которых оцениваются как «грязные», а в р. Пельшма в своре г. Сокол – как «экстремально грязные»; основными загрязняющими веществами реки являются органические вещества, соединения железа, лигносульфонаты.

Высок уровень загрязненности воды малых рек Мурманской области, оцениваемой 4 классом; руч. Варничный, г. Мурманск – 5 классом «экстремально грязные». Критического уровня загрязненности воды

руч. Варничный достигали соединения металлов и минерального азота, органические вещества, в том числе специфические.

**Южный федеральный округ (ЮФО).** Сырьевая база округа одна из самых богатых в стране. Топливо-энергетические ресурсы представлены нефтью, природным газом, каменным углем.

В южном федеральном округе наиболее высокий уровень загрязненности воды характерен для некоторых водных объектов Астраханской, Ростовской областей, где воды значительного большинства створов (90,9 и 79,7 %) оцениваются 4 классом качества («грязная» вода).

В республике Адыгея, Волгоградской области и большинство водных объектов в Краснодарском крае оценивается 3 классом качества воды.

Хорошим качеством воды характеризуются водотоки и водоемы на территории Республики Крым, где в 2018 г. относились к «условно чистым» 23 % и «слабо загрязненным» 31 % створов.

**Северо-Кавказский федеральный округ (СКФО).** Водные объекты СКФО относятся к наименее загрязненным. Большинство водных объектов Дагестана, Кабардино-Балкарии оцениваются удовлетворительным 3-м классом качества воды.

Для поверхностных вод Северной Осетии характерен широкий спектр качества воды: от «условно чистой» до «грязной»; «грязными» остаются участки на р. Терек, г. Владикавказ и г. Беслан и на р. Камбилеевка, с. Камбилеевское.

В Ставропольском крае качество воды изменяется от «слабо загрязненной» до «экстремально грязной» в Пролетарском вдхр., где наблюдается естественно высокая минерализация воды (сотни ПДК).

**Приволжский федеральный округ (ПФО).** Большая часть округа расположена в бассейне Волги. В Поволжье сосредоточен крупнейший комплекс машиностроительных производств, связанных частично с ВПК. В регионе находятся мощные производственные объединения в сфере автомобилестроения, авиационно-космической техники. Основными отраслями промышленности ПФО являются: многоотраслевое машиностроение, нефтегазовый и химический комплекс, приборостроение, электронное машиностроение, электротехническая промышленность, электроэнергетика, приборостроение и др.

На территории Приволжского федерального округа доля створов на водных объектах, оцениваемых удовлетворительным качеством воды 3-го класса, составляла 52-93 %, в Чувашской Республике – 100 %. Створы на водных объектах, характеризующихся как «грязные» или «очень грязные», составляли от 7 до 49 %.

Хронически «грязной» водой характеризуются реки Пермского края Чапаевка, г. Чапаевск и Косьва, г. Губаха; характерными загрязняющими веществами которых являются органические вещества (по ХПК), аммонийный и нитритный азот, в р. Чапаевка добавляются хлорорганические пестициды и сульфаты; в р. Косьва – фенолы, соединения железа и меди.

В Самарской области хронически «грязной» водой характеризуется р. Падовая, г. Самара, характерными загрязняющими веществами которой являются соединения меди, нитритный азот, сульфаты, фосфор фосфатов, магний.

**Уральский федеральный округ (УФО)** является одним из наиболее богатых минерально-сырьевых регионов РФ.

Наличие большого количества промышленных предприятий, не имеющих в достаточной степени эффективных очистных сооружений, обуславливает высокий уровень загрязненности поверхностных вод округа.

Наиболее высокой степенью урбанизации характеризуются Свердловская и Челябинская области, водные объекты которых расположены в бассейне Оби.

В УФО в многолетнем плане стабильно наблюдается высокий уровень загрязненности поверхностных вод.

Все водные объекты, расположенные на территории Ямало-Ненецкого и Ханты-Мансийского автономных округов и большинство водных объектов Курганской, Свердловской, Тюменской, Челябинской областей в многолетнем плане оцениваются низким качеством воды в диапазоне 4-го класса «грязная» «очень грязная» вода.

На территории Свердловской области р. Исеть, г. Екатеринбург и р. Пышма, г. Березовский в многолетнем плане характеризуются крайне низким качеством воды – 5 класс «экстремально грязная» вода. Критического уровня загрязненности воды достигают органические вещества, аммонийный и нитритный азот, соединения марганца, фосфор фосфатов.

**Сибирский федеральный округ (СФО).** Ведущей отраслью экономики округа являются черная и цветная металлургия, химическая, нефтехимическая, электроэнергетическая, машиностроительная, металлообрабатывающая, топливная, лесная, деревообрабатывающая промышленность и др. Округ имеет хорошо развитую сеть, относящуюся к крупным водным бассейнам озера Байкал, рек Лена, Енисей, Обь.

В округе наиболее высок уровень загрязненности поверхностных вод, характеризующихся как «грязная» и «очень грязная» на территории Новосибирской и Томской областей.

Озеро Большие Чаны, д. Квашнино и р. Каргат (Новосибирская обл.) оцениваются «экстремально грязной» водой, обусловленной высоким содержанием нефтепродуктов, соединений марганца и природной минерализацией.

Большинство водных объектов Республик Тыва, Хакасия, Алтайского и Красноярского краёв, Кемеровской и Омской областей оцениваются водой удовлетворительного качества («загрязненная» или «очень загрязненная»).

Вместе с тем следует отметить, что ряд водных объектов характеризуется хорошим качеством воды как "условно чистая" или "слабо загрязненная" на территории Республик: Алтай, Тыва, Хакасия; областей: Иркутской, Кемеровской.

**Дальневосточный федеральный округ (ДФО)** богат разнообразными видами минерально-сырьевых ресурсов, месторождениями свинцово-цинковых и оловянных руд, вольфрама, титана, магния.

Водные объекты округа расположены в бассейнах Амура, Лены, Колымы, Яны, Индигирки, а также в бассейнах рек Камчатского края и Сахалинской области.

Наиболее высокий уровень загрязненности поверхностных вод округа, характеризуемых 4-м классом («грязная» вода и «очень грязная»), отмечен в Приморском, Хабаровском краях и Амурской области, при этом в Приморском крае р. Кневничанка, г. Артем, в Хабаровском крае р. Хор, пгт Хор, в Сахалинской области р. Охинка, г. Оха оцениваются 5-м классом.

Водные объекты Республик Бурятия, Саха (Якутия), Забайкальского и Камчатского краев, Еврейской автономной области, Магаданской и Сахалинской областей в подавляющем большинстве оцениваются водой удовлетворительного 3-го класса, как «загрязненные» или «очень загрязненные».

Высокая степень урбанизации отдельных территорий Федеральных округов Российской Федерации наряду со многими факторами антропогенного (сброс неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод и др.) и природного происхождения (наводнения, уменьшения стока водных объектов в летний период в некоторых речных бассейнах и др.), являющихся причиной возникновения чрезвычайных экологических ситуаций, вызванных накоплением в водной среде большого набора загрязняющих веществ, обуславливает возникновение отдельных случаев высокого и экстремально-высокого уровня загрязнённости воды.

Наиболее часто случаи высокого загрязнения фиксировали в Центральном, Дальневосточном и Уральском округах. Перечень загрязняющих веществ широк, преобладают соединения марганца, цинка, железа, аммонийный и нитритный азот, в меньшей степени соединения алюминия и никеля, легкоокисляемые органические вещества.

Информация о качестве поверхностных вод федеральных округов РФ, являющаяся результатом анализа многолетних наблюдений сети Росгидромета, обработанная с использованием статистических и комплексных оценок, имеет важное значение и может быть использована при решении задач по оздоровлению водных объектов страны в целом, являясь важным элементом информационной основы для поддержки и реализации главных целей в области охраны, государственного надзора и контроля за источниками загрязнения.

#### Список литературы

1. Ежегодники «Качество поверхностных вод Российской Федерации». Ростов-на-Дону. 2015-2019 гг.

## ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ НИЖНЕЙ ВОЛГИ

И.П. Ничипорова, Н.А. Лямперт, Е.Е. Лобченко

*Гидрохимический институт, Ростов-на-Дону, Россия, info@gidrohim.com*

Устьевая область Волги – уникальный природный объект, обладающий огромными земельными, водными, биологическими ресурсами и полезными ископаемыми, включающий участок реки, совпадающий с дельтой, и открытое отмелое устьевое взморье. Дельта Волги является многорукавной сложно-разветвленной дельтой выдвигания, вершина устьевой области Волги совпадает с вершиной дельты.

Дельта Волги начинается в месте отделения от русла реки рукава Бузан (46 км севернее Астрахани) и является одной из самых крупных в России и крупнейшей в Европе. Она занимает в современных условиях около 49000 км<sup>2</sup>: площадь дельты составляет 11000 км<sup>2</sup>, устьевого взморья – 37600 км<sup>2</sup>. В дельте насчитывается до 500 рукавов, проток и мелких речек [1]. Главные рукава – Бузан, Бахтемир, Камызяк, Старая Волга, Болда, Ахтуба, из них в судоходном состоянии поддерживается Бахтемир, образуя Волго-Каспийский канал. Один из рукавов нижнего течения Волги – река Кигач пересекает территорию Казахстана. С указанного рукава берет начало стратегический водовод «Волга – Мангышлак», обеспечивающий пресной водой отдельные районы Мангистауской области Казахстана. Ахтуба – левый рукав Волги, берущий начало в северных пригородах Волгограда, в 1 км от плотины Волжской ГЭС. В 25 км выше по течению от г. Астрахань (с. Красный Яр) сливается с рукавом Бузан, разветвляясь на многочисленные мелкие протоки, впадает в Каспийское море. Длина рукава Ахтуба – 537 км, ширина русла Ахтубы достигает двухсот метров, в половодье – трехсот метров. Уровень рукава Ахтуба регулируется сбросами воды с плотины Волжской ГЭС.

Водохозяйственные проблемы Нижней Волги обусловлены как природными условиями региона, так и несоответствием качества очистки сточных вод предприятий ряда отраслей экономики экологическим требованиям при многоцелевом использовании водных ресурсов. При этом особенностью Нижней Волги является тот факт, что улучшение и поддержание на соответствующем уровне экологического состояния системы возможно в основном за счет регулирования стока Волжско-Камским каскадом водохранилищ и попусков воды через Волгоградский гидроузел.

В последние годы на р. Волга, особенно в устьевой ее части, сложилась экологическая обстановка, обусловленная комплексом природных и антропогенных факторов, наиболее важным из которых являются зарегулированность реки водохранилищами (практически от истока до устья), проявляющаяся в последние годы снижением водности, высокой степенью урбанизации территории, наличием большого количества производств различных видов промышленности, со сточными водами которых поступает громадное количество загрязняющих веществ (в том числе и высокотоксичных). Часть загрязняющих веществ сорбируется взвешенными



веществами и донными отложениями, которые при определенных условиях (гидрологических, климатических и др.) могут стать источниками вторичного загрязнения. При этом возрастающая антропогенная нагрузка снижает самоочищающую способность реки, ухудшает качество воды.

Основными источниками загрязнения нижнего течения Волги являются сточные воды многочисленных предприятий, относящихся к разным министерствам и ведомствам. При этом кроме точечных (контролируемых) существуют рассредоточенные (неконтролируемые) источники, характеризующиеся неравномерным распределением загрязняющих веществ по площади водосбора, нерегулярностью воздействия на водный объект. К возможным причинам поступления в реку органических и биогенных веществ является смыв с территории животноводческих ферм, хранилищ удобрений, с сельскохозяйственных полей, с территорий рыбзаводов; нефтепродуктов – аварии и подсланевые воды нефтеналивных судов, горюче-смазочные материалы при загрузке и выгрузке танкеров; соединений меди – смыв медного купороса с полей, хранилищ, а также при аварийных ситуациях на южных очистных сооружениях.

Качество воды р. Волга, ее многочисленных рукавов и протоков в пределах Астраханской области, формируется под воздействием вышележащих водохранилищ, коммунально-бытовых и промышленных стоков городов, дренажно-сбросных вод с орошаемых земель, сточных вод рыбного хозяйства и речного флота. Действующие очистные сооружения работают не всегда эффективно. Очистке подвергается лишь 50 % забираемой воды для хозяйственно-питьевых нужд, в результате в р. Волга сбрасываются недостаточно очищенные стоки, содержащие нефтепродукты, фенолы, соединения металлов и ряд других загрязняющих веществ.

Участок реки в районе Волгограда находится под влиянием сточных вод фармакологической промышленности, цветной и черной металлургии, жилищно-коммунального хозяйства и судоходства. Характерными загрязняющими веществами этого участка реки являются органические вещества (по ХПК и БПК<sub>5</sub>), фенолы, соединения меди и цинка.

Контрольный створ сети наблюдений Росгидромета на Волге (в черте с. Верхнее Лебяжье, в 4,1 км выше истока протоки Бузан), являющийся вершиной дельты р. Волга и замыкающим для русловой части реки, определяет потоки загрязняющих веществ, поступающих с водой р. Волга в Северный Каспий. По сравнению с пунктом наблюдения г. Волгоград характеризуется более высоким уровнем загрязненности воды, который в течение многолетнего периода стабильно соответствовал 4-му классу («грязная» вода), а также более широким перечнем характерных загрязняющих веществ воды [2]. К характерным относились: органические вещества (по ХПК и БПК<sub>5</sub>), нефтепродукты, фенолы, соединения марганца, меди, цинка, реже встречались: нитритный азот, соединения никеля, железа, молибдена.

На гидрохимический режим Волги в районе Астрахани оказывают влияние сточные воды жилищно-коммунального хозяйства. Качество воды этого участка реки стабильно оценивалось 4-м классом – «грязная» вода, за

исключением 2007 и 2019 гг., где вода улучшалась до 3 класса. Характерными загрязняющими веществами р. Волга в районе г. Астрахань являются органические вещества (по ХПК и БПК<sub>5</sub>), соединения железа, меди, цинка, нефтепродукты, в отдельные годы – фенолы, соединения никеля.

Волжский бассейн в результате ускоренного процесса индустриализации и урбанизации в последние десятилетия испытывает огромную антропогенную нагрузку, которая стала причиной того, что природная среда этого региона подошла к рубежу необратимых изменений. Значительная экологическая напряженность в дельте Волги обусловлена и тем, что в порту Астрахани находятся нефтеналивные базы, дислоцирована Каспийская флотилия, через порт проходят нефтеналивные суда из Азербайджана, Казахстана, Ирана, Туркменистана. Кроме того, через Волгу на территории Астраханской области проходят газо- и нефтепроводы. Все это обуславливает усиление экологической напряженности на водной акватории.

В течение всего многолетнего периода наблюдений характерными загрязняющими веществами воды рукавов Ахтуба и Бузан оставались органические вещества (по БПК<sub>5</sub> и ХПК), нефтепродукты, фенолы и соединения меди; характеристика загрязненности воды практически изменялась незначительно и в большую часть многолетнего периода вода рук. Бузан оценивалась как «грязная», рук. Ахтуба – как «очень загрязненная» ниже п. Солодовка, и как «грязная» – пгт Селитренное, п. Аксарайский. Изменение качества воды рук. Ахтуба по течению связано с возрастанием уровня загрязненности воды нефтепродуктами, соединениями меди, железа, органическими веществами (по ХПК и БПК<sub>5</sub>).

В многолетнем плане вода Нижней Волги характеризуется низким качеством, в подавляющем большинстве лет как «грязная» (рисунок). В отдельные годы в воде содержание соединений меди, цинка, фенолов, нитритного азота достигало критического уровня загрязненности воды.

Известно, на разрабатываемых газовых, газоконденсатных месторождениях и др. природных ресурсах проводятся наблюдения за отдельными компонентами природной среды с позиций не экологического, а технологического контроля. В связи с этим организация специализированных наблюдений за изменением качества воды Нижней Волги, включающих определение гидрохимических, гидрологических, гидробиологических показателей будет способствовать получению информации, на основе которой возможно принятие решений по водоохранным мероприятиям, способствующим улучшению экологического состояния поверхностных вод Нижней Волги.

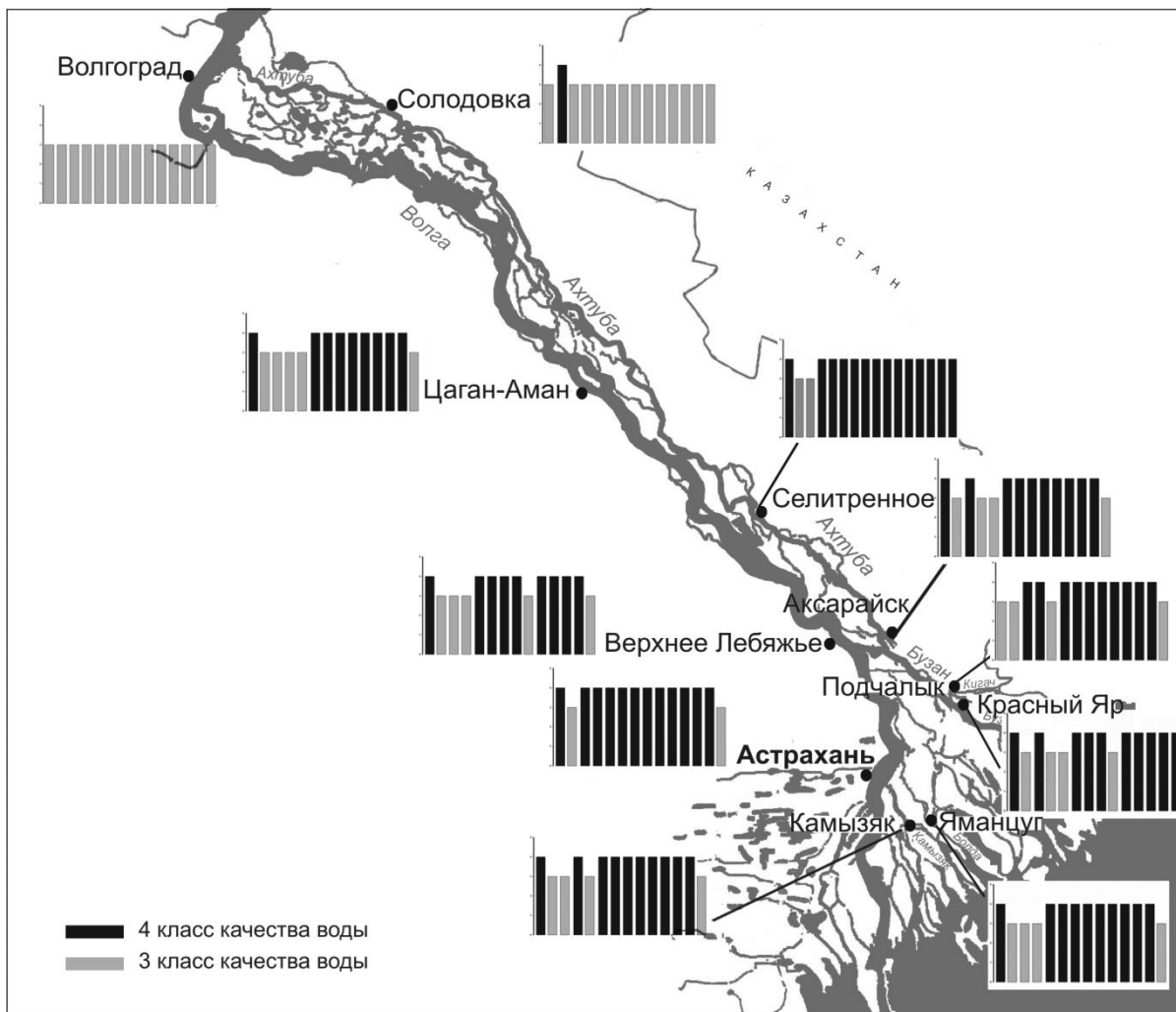


Рисунок – Динамика качества воды Нижней Волги в течение 2006-2019 гг.

#### Список литературы

1. Ресурсы поверхностных вод СССР / Под ред. канд. тех. наук Водогрецкого В.Е. Л.: Гидрометеиздат, 1971. Т. 12. Вып. 1. С.8, 24, 31, 229, 231.
2. Ежегодники «Качество поверхностных вод Российской Федерации». Ростов-на-Дону. 2006-2018 гг.

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ ПРИМЕСЕЙ В РЕЧНЫХ БАССЕЙНАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

Т.В. Реутова, Ф.Р. Дреева, Н.В. Реутова, А.М. Хутуев  
*Кабардино-Балкарский научный центр РАН, Нальчик, Россия,  
reuttat@yandex.ru*

Основные горные реки Северного Кавказа особенно в его наиболее высокой центральной части являются уникальными водными объектами. На расстоянии менее 100 километров от их истоков резко изменяются климатические, геоморфологические условия и геологическое строение на территории речных бассейнов. Принимаемые ими в верхнем течении короткие притоки формируются в совершенно разных условиях. Большинство данных о химическом составе речных вод, публикуемых в Ежегодниках Росгидромета, относится к самым крупным водным артериям, в основном к среднему и нижнему течению. Ряд исследований был проведен в верхнем течении рек Малка, Баксан, Чегем и Черек [1, 4], а также реки Кубань и на ее притоке реке Теберда [2-3]. Но и в этих работах главным образом рассматривается динамика содержания примесей в основной реке и проводится сравнение нескольких таких рек между собой [1, 4]. Малым рекам, также участвующим в формировании общего речного стока, химический состав которых определяется локальной средой, уделяется недостаточно внимания. В цели проведенного исследования входило сопоставление уровней содержания примесей в водах малых горных рек смежных бассейнов основных водных артерий от Череха на востоке до верхнего течения Кубани и реки Теберда на западе и выявление возможных изменений их концентраций от бассейна к бассейну и от одной высотной зоны к другой.

Исследования проводили на территории, простирающейся вдоль Главного Кавказского хребта на 75 км к западу и на 90 км к востоку от меридиана г. Эльбрус и от нивально-гляциальной зоны до выхода основных рек в предгорную зону, что составляло от 70 до 100 километров от их истоков. На этой территории располагаются бассейны рек Теберда, Кубань, Малка, Баксан, Чегем и Черек. Пробы речных вод отбирали в летние месяцы с 2015 по 2019 г. в пробах определяли главные ионы ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) и некоторые микропримеси ( $\text{F}^-$ ,  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ) методом капиллярного ионофореза, микроэлементы (Al, Cu, Mn, Zn) атомно-абсорбционным методом. Обследованные водные объекты в бассейнах Теберды и Кубани были объединены в одну выборку поскольку находятся в примерно одинаковых условиях, так же, как и в бассейнах двух составляющих реки Черек (Черек Балкарский и Черек Безенгийский). В каждом бассейне были выделены группы высокогорных и среднегорных рек. К высокогорным относились водотоки, истоки которых находились на склонах Главного, Бокового и Передового хребтов на высотах 2500-4000 м, а устья или нижние створы не ниже 1200 м. В свою очередь эта группа подразделялась по происхождению на ледниковые реки, берущие свое начало от ледников, и неледниковые реки, ручьи и родники,

непосредственно не связанные с ледниками. Водные объекты, отнесенные к среднегорным, формируются на южных и северных склонах Скалистого хребта и его отрогах, их водосборы находятся в диапазоне высот от 600-700 до 2000-2500 м.

Результаты измерения концентраций после группировки и первичной статистической обработки представлены на рисунке 1 (ионный состав) и рисунке 2 (содержание микропримесей). Здесь в смежных бассейнах в направлении с востока на запад показаны максимальные и минимальные концентрации, выделены диапазоны, в которые попадает более половины значений вокруг медианы (2-3 квартили), и линии медиан для трех групп водотоков.

Из рисунка 1 видно, что для всех компонентов ионного состава характерно заметное повышение уровня содержания при переходе от ледниковых рек к неледниковым, и еще большее многократное повышение концентраций в среднегорных реках, хотя отдельные максимальные значения в высокогорных неледниковых водных объектах были сравнимы с концентрациями в среднегорной зоне. Прослеживаются аналогии в зональном распределении ионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$ . В высокогорной зоне повышенными концентрациями этих ионов отличаются водотоки в бассейне р. Малка. В бассейне Баксана отмечены 1-2 высоких значения, не повлиявшие на диапазон средних величин. В среднегорье, напротив, именно в бассейне р. Баксан наблюдалось повышение и максимальных концентраций, и среднего уровня содержания. Распределение  $\text{K}^+$  во всех речных водах высокогорья равномерное, концентрации не превышали 2,5 мг/л, в среднегорной зоне концентрации в 1,5-2 раза выше и видна тенденция к повышению уровня его содержания в западном направлении. Средний уровень содержания  $\text{Mg}^{2+}$  в ледниковых реках на всей территории находился в пределах 0,5-2,3 мг/л, выявилось некоторое понижение средних, но не максимальных, концентраций в бассейне Кубани. В группе неледниковых рек высокогорной зоны видно заметное обогащение ионами  $\text{Mg}^{2+}$  вод в бассейне р. Малка. Речные воды в бассейнах всех 5 рек в среднегорной зоне не отличались по содержанию  $\text{Mg}^{2+}$ . Распределение ионов  $\text{Ca}^{2+}$  более разнообразно. Кальций в коротких ледниковых реках бассейна р. Черек присутствует в относительно высоких концентрациях, и наблюдается постепенное снижение уровня содержания этих ионов до бассейна Баксана и его выравнивания до постоянных низких значений. В высокогорных неледниковых водных объектах повышенные концентрации  $\text{Ca}^{2+}$ , как и  $\text{Mg}^{2+}$  найдены на территории бассейна Малки. Также в бассейне Малки в среднегорной зоне выделяются несколько водных объектов, в которых отмечены максимальные для региона концентрации  $\text{Ca}^{2+}$ , но здесь имеются многие водотоки с низкими концентрациями. Поэтому значения медиан почти одинаковы для всех среднегорных участков бассейнов основных рек. Распределение  $\text{SO}_4^{2-}$  фактически полностью повторяет распределение  $\text{Ca}^{2+}$  за исключением группы высокогорных неледниковых водных объектов, где в бассейне Малки повышение концентраций  $\text{Ca}^{2+}$  сопровождается подъемом содержания  $\text{HCO}_3^-$  и снижением концентраций  $\text{SO}_4^{2-}$ . Основными чертами

распределения ионов  $\text{HCO}_3^-$  являются незначительное понижение уровня содержания в ледниковых реках с востока на запад, отсутствие трендов медиан

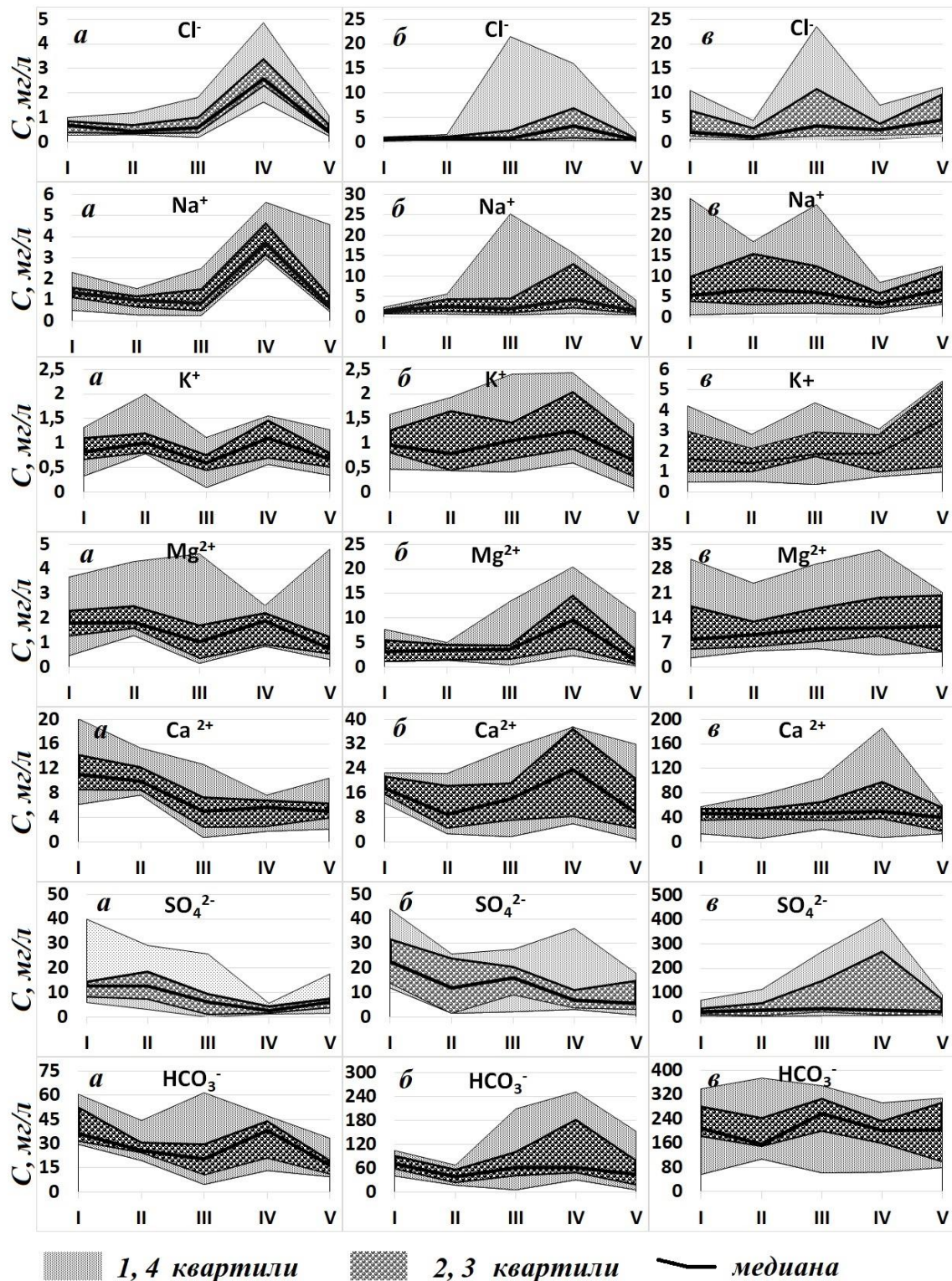


Рисунок 1 – Уровни содержания компонентов ионного состава в водных объектах смежных речных бассейнов

(*a* – высокогорные ледниковые; *б* – высокогорные неледниковые; *в* – среднегорные. I-бассейн р. Черек; II-бассейн р. Чегем; III-бассейн р. Баксан; IV-бассейн р. Малка; V-бассейн р. Кубань)

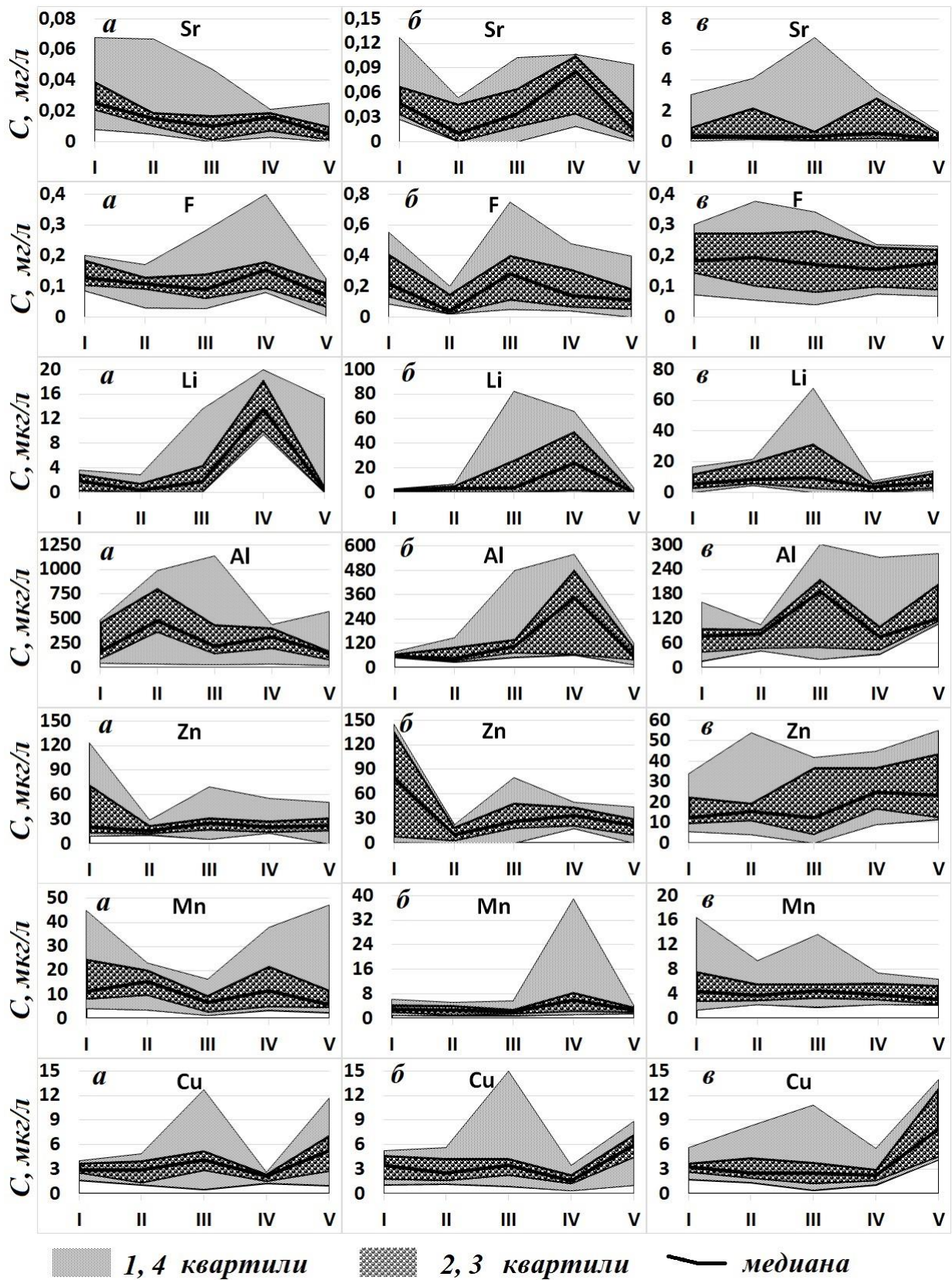


Рисунок 2 – Уровни содержания микроэлементов в водных объектах смежных речных бассейнов

(*a* – высокогорные ледниковые; *б* – высокогорные неледниковые; *в* – среднегорные. I-бассейн р. Черек; II-бассейн р. Чегем; III-бассейн р. Баксан; IV-бассейн р. Малка; V-бассейн р. Кубань)

в высокогорных неледниковых и среднегорных реках и наличие нескольких водных объектов в повышенными концентрациями в бассейнах Баксана и Малки.

Из рисунка 2 видно, что для Sr характерны самые значительные различия между группами ледниковых, высокогорных неледниковых и среднегорных речных вод. Максимум, отмеченный в бассейне Баксана близок к ПДК<sub>пит.</sub> В среднем диапазоне содержание F<sub>на</sub> всей территории независимо от высотной зоны находилось на уровне 0,1-0,3 мг/л, что ниже рекомендуемого. Однако несколько водных объектов причем в высокогорье содержали F в повышенных концентрациях. Присутствие Li в речных водах явно связано с Cl<sup>-</sup> и Na<sup>+</sup>, о чем свидетельствует сходство соответствующих графиков на рисунках 1 и 2.

В отличие от всех рассмотренных выше ингредиентов в распределении таких микроэлементов, как Al, Zn, Mn, Cu, наблюдается обратное явление. Уровень концентраций в водных объектах среднегорной зоны ниже, чем в высокогорной, при этом мало выражены отличия ледниковых рек от высокогорных неледниковых. Выявлены отличия между отдельными бассейнами прежде всего в высокогорье. Здесь можно отметить высокое содержание Zn и Mn в восточной части района (бассейн р. Черек), сверхвысокие концентрации Al в ледниковых реках сопредельных бассейнов центральной части (Чегем-Баксан-Малка). Среди высокогорных неледниковых водотоков выделялся повышенным содержанием Al и Mn бассейн р. Малка, а Cu бассейн Баксана. Особенно заметно обогащение вод Cu в бассейне Кубани, причем во всех группах водных объектов.

Проведенное исследование показало значительные различия в составе вод малых рек в зависимости от высотной зоны, что связано с изменением типа горных пород при переходе от Главного Кавказского и Бокового хребтов к Скалистому. Имеющиеся отличия между бассейнами выражены меньше, чем отличия по происхождению и зональные. Повышенное содержание Li, Na, Cl в высокогорной зоне соотносится с водными объектами на склонах Эльбруса.

#### Список литературы

1. Воробьева Т.И., Гущина Л.П., Реутова Т.В., Чередник Е.А., Жинжакова Л.З. Микропримеси в водах главных рек Центрального Кавказа // Изв. Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2005. № 2. С 101-109.
2. Дега Н.С., Онищенко В.В., Байчорова Э.М. Оценка техногенного влияния на гидрохимический режим реки Теберда // Безопасность в техносфере. 2014. Т.3. №5. С 3-10.
3. Дега Н.С., Онищенко В.В., Узденова Х.И., Шидаков А.К. Динамика гидрохимической структуры реки Кубани в антропогенной зоне ледникового питания Карачаево-Черкесской республики // Проблемы региональной экологии. 2015. №3. С. 92-99.
4. Реутова Т.В., Дреева Ф.Р., Реутова Н.В., Хутуев А.М. Изменение ионного состава природных вод от высокогорной до низкогорной зоны Центрального Кавказа // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2018. Т.3. №1 (9). С 33-41.



## ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЧИВОСТИ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА УСТЬЕВЫХ УЧАСТКАХ РЕК АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ\*

О.С. Решетняк<sup>1), 2)</sup>, Л.С. Косменко<sup>1)</sup>, А.О. Даниленко<sup>1)</sup>, М.Ю. Кондакова<sup>1)</sup>,  
А.А. Коваленко<sup>1), 2)</sup>

<sup>1)</sup>*Гидрохимический институт, Ростов-на-Дону, info@gidrohim.com*

<sup>2)</sup>*Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, osreshetnyak@sfedu.ru*

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 [6, 9]. Реки собирают воду и взвешенные вещества с огромных водосборных площадей, связанных с различными видами хозяйственной деятельности, и транспортируют их далее вниз по течению до замыкающих створов [7, 9]. В результате возрастания антропогенного воздействия и вызванных им последствий происходит постепенная трансформация гидролого-экологического состояния устьевых областей арктических рек, в первую очередь, за счет заметных изменений объемов и компонентного состава поступающих с речным стоком растворенных химических веществ, в том числе и загрязняющих [1-5].

Антропогенная нагрузка на устьевые области рек обуславливается, в основном, поступлением химических веществ со стоком рек. Оценка антропогенной нагрузки предложено проводить по содержанию в воде химических веществ на замыкающем створе реки [8], отражающем суммарный эффект речного переноса и трансформации компонентного состава воды по длине реки. Высокая внутри- и межгодовая изменчивость концентраций химических веществ определяет уровень антропогенной нагрузки, который можно оценить по изменчивости объемов притока этих соединений.

Согласно рекомендациям Р 52.24.776–2012 оценка антропогенной нагрузки на устьевые экосистемы проводится по модулю притока химических веществ, в число которых включены легкоокисляемые органические вещества, азот аммонийный и нефтепродукты, резкое изменение содержания которых в воде оказывает негативное воздействие, способное вызвать нарушение структурно-функциональных характеристик сообществ водных организмов и ухудшение состояние экосистемы в целом [8].

Использование модуля притока химических веществ (отношение среднегодового объема химического стока к площади водосбора) позволяет проводить не только оценку антропогенной нагрузки, но и сравнивать устьевые экосистемы с различными объемами водного стока и площадями водосбора.

В работе представлены результаты оценки антропогенной нагрузки на замыкающих створах крупных рек арктической зоны России – р. Печора и её притоков (рр. Адзьва, Колва, Сула, Уса), рек Западно-Сибирской части Арктики – рр. Обь, Пур, Таз, Надым и Енисей и Восточно-Сибирской – рр. Анабар, Лена, Яна, Индигирка и Колыма. Сравнительный анализ данных по

максимальным значениям модуля стока растворенных химических веществ за два временных периода – с 1980 по 1999 г. и с 2000 по 2017 г. позволил выделить основные тенденции изменчивости антропогенной нагрузки на устьевых участках рек арктической зоны России.

Для рек бассейна Печоры сравнительный анализ максимальных значений модулей стока и соответствующего им уровня антропогенной нагрузки показал, что для притоков Печоры антропогенная нагрузка по азоту аммонийному характеризуется как «очень высокая», при этом сама река в нижнем течении длительное время испытывает «умеренную» нагрузку (таблица 1). По стоку органических веществ также наблюдается «очень высокая» антропогенная нагрузка на устьевых участках рек бассейна. В динамике отмечается незначительное снижение антропогенной нагрузки по модулю стока азота аммонийного для реки Сула и по притоку органических веществ – для рек Печора и Уса.

Таблица 1 – Изменчивость уровня антропогенной нагрузки по стоку химических веществ в бассейне реки Печора в пределах арктической зоны

Период	Печора, г. Нарьян-Мар	Адзьва, д. Харута	Колва, с. Хорей-Вер	Сула, д. Коткино	Уса, с. Усть- Уса
по модулю стока азота аммонийного					
1980-1999	умеренная	очень высокая	очень высокая	очень высокая	очень высокая
2000-2017	умеренная	очень высокая	критическая/ очень высокая	умеренная/ высокая	критическая/ очень высокая
по модулю стока органических веществ (по БПК <sub>5</sub> )					
1980-1999	критическая/ очень высокая	очень высокая	очень высокая	очень высокая	очень высокая
2000-2017	высокая	очень высокая	очень высокая	очень высокая	высокая
по модулю стока нефтепродуктов					
1980-1999	умеренная/ высокая	критическая/ очень высокая	критическая/ очень высокая	критическая	высокая
2000-2017	малая / умеренная	критическая/ очень высокая	умеренная/ критическая	критическая	критическая

Уровень антропогенной нагрузки по модулю стока нефтепродуктов значительно варьирует в бассейне Печоры от «малой» (для прр. Печора и Уса в отдельные годы) до «очень высокой» (р. Адзьва). В динамике можно отметить стабилизацию уровня нагрузки для прр. Сула и Адзьва и улучшение ситуации на исследуемых участках рек Печора, Колва и Уса после 2000 г. (таблица 1).

Таким образом, для большинства изученных рек европейской части арктической зоны России во временном аспекте уровень антропогенной нагрузки снизился по большинству оцениваемых показателям.

Соотнесение максимальных значений модулей стока для рек Западно-Сибирской части Арктики с критериями оценки уровня антропогенной

нагрузки, представленными в Р 52.24.776, показало, что для всех рек уровень антропогенной нагрузки по модулю стока азота аммонийного довольно высокий и меняется от «критической» до «очень высокой» с тенденцией снижения уровня нагрузки (таблица 2). По модулю стока органических веществ более низкий уровень антропогенной нагрузки наблюдается для р. Обь («малая») и рр. Надым, Пур (в основном «умеренная» нагрузка), а наибольший – для рр. Таз и Енисей (от «умеренной» до «высокой»). При этом в динамике антропогенная нагрузка по модулю стока органических веществ для рр. Обь и Таз незначительно возрастает, в то время как для р. Енисей – снижается. Уровень антропогенной нагрузки по модулю стока нефтепродуктов очень сильно варьирует (от «умеренной» до «очень высокой») и в динамике наблюдается его снижение для рр. Обь, Надым, Таз и Енисей, возрастание – для р. Пур (таблица 2).

Таблица 2 – Изменчивость уровня антропогенной нагрузки для рек Западно-Сибирской части Арктики по модулю стока химических веществ

Период	Обь, Салехард	Надым, Надым	Пур, Самбруг	Таз, Красноселькуп	Енисей, Игарка
по модулю стока азота аммонийного					
1980-1999	критическая	очень высокая	очень высокая	высокая/ очень высокая	высокая/ очень высокая
2000-2017	критическая	критическая/ высокая	высокая	высокая	умеренная/ критическая
по модулю стока органических веществ (по БПК <sub>5</sub> )					
1980-1999	малая	умеренная	умеренная/ критическая	умеренная	умеренная/ высокая
2000-2017	малая/ умеренная	–	–	умеренная/ критическая	малая/ умеренная
по модулю стока нефтепродуктов					
1980-1999	умеренная/ критическая	очень высокая	критическая	критическая/ очень высокая	критическая/ очень высокая
2000-2017	критическая	критическая	критическая/ высокая	критическая	умеренная

Результаты сравнительного анализа максимальных значений модулей химического стока для рек Восточно-Сибирской части Арктики показали, что для всех рек уровень антропогенной нагрузки по модулю стока азота аммонийного меняется от «умеренного» к «малому» с тенденцией снижения уровня нагрузки, за исключением р. Анабар, где отмечен незначительный рост (таблица 3).

Для устьевых участков рек уровень антропогенной нагрузки по модулю стока органических веществ в основном оценивается как «умеренный», за исключением р. Анабар, где нагрузка возрастает до «очень высокой». В динамике наблюдается стабилизация нагрузки для рр. Лена, Яна и Индигирка и снижение – для р. Колыма (таблица 3).

Снижение максимальных значений модуля стока нефтепродуктов обуславливает и снижение уровня антропогенной нагрузки в период с 2000 по 2017 г. («малая»). Наибольшую нагрузку по стоку нефтепродуктов на устьевых участках рек Восточно-Сибирской части Арктики испытывает р. Анабар, но в динамике также наблюдается положительный тренд на ее снижение (таблица 3).

Таблица 3 – Изменчивость уровня антропогенной нагрузки для рек Восточно-Сибирской части Арктики по модулю стока химических веществ

Период	Анабар, Саскылах	Лена, Кюсюр	Яна, Юбилейная	Индигирка, Индигирский	Колыма, Колымское
по модулю стока азота аммонийного					
1980-1999	малая	умеренная	малая/ умеренная	малая	малая/ умеренная
2000-2017	малая/ умеренная	малая	малая	малая	малая
по модулю стока органических веществ (по БПК <sub>5</sub> )					
1980-1999	умеренная	умеренная	умеренная	малая/ умеренная	малая/ умеренная
2000-2017	высокая/ оч.высокая	умеренная	умеренная	умеренная	малая
по модулю стока нефтепродуктов					
1980-1999	критическая/ высокая	малая/ умеренная	малая	малая/ умеренная	малая
2000-2017	малая	малая	малая	малая	малая

Сравнительный анализ рек Западно- и Восточно-Сибирской частей Арктики показал, что уровень антропогенной нагрузки по модулям стока азота аммонийного, органических веществ и нефтепродуктов значительно отличается. Более высокий уровень антропогенной нагрузки характерен для рек Западной Сибири, как и следовало ожидать, в силу большей освоенности территории и большей техногенной нагрузки. Для большинства изученных рек этой части арктической зоны России во временном аспекте уровень антропогенной нагрузки снизился по всем оцениваемым показателям.

Обобщая представленные данные, можно отметить, что наименьшую суммарную антропогенную нагрузку испытывают устьевые участки рек Восточной Сибири за исключением р. Анабар, а наибольшую – притоки р. Печора, для которых уровень нагрузки чаще всего соответствует максимальному уровню – «очень высокая». Столь высокий уровень антропогенной нагрузки на устьевых участках рек будет оказывать влияние, в первую очередь, на гидрохимический режим устьевых экосистем арктических рек России.

Таким образом, речной сток является одним из важнейших факторов формирования гидрохимического режима устьевых областей рек, эстуариев и прибрежных частей морских акваторий. В силу того, что устья рек выполняют

роль геохимического барьера, влияние химического стока на прибрежные морские акватории будет не столь значительным.

Полученные данные могут быть использованы при разработке экологически обоснованных природоохранных мероприятий на устьевых участках рек арктической зоны, особенно в части решения проблемы влияния речного стока и возможного загрязнения прибрежных морских акваторий.

*\*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-60165.*

#### Список литературы

1. Брызгалов В.А., Никаноров А.М., Решетняк О.С. Изменчивость экологического состояния речных зон устьевых экосистем крупных рек России // Вода: химия и экология. 2013. № 12. С.15-21.

2. Брызгалов В.А., Никаноров А.М., Косменко Л.С., Решетняк О.С. Устьевые экосистемы крупных рек России: антропогенная нагрузка и экологическое состояние. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2015. 164 с.

3. Брызгалов В.А., Решетняк О.С., Косменко Л.С., Кондакова М.Ю. Изменчивость экологического состояния и транспорт загрязняющих веществ по длине р. Печора // Вестник Северного (Арктического) Федерального университета. Серия «Естественные науки». 2015. № 3. С. 5-14.

4. Никаноров А.М., Брызгалов В.А., Косменко Л.С., Решетняк О.С. Роль химического речного стока в антропогенной трансформации состояния водной среды Енисейской устьевой области // Водные ресурсы. 2010. № 4. С.434-444.

5. Никаноров А.М., Брызгалов В.А., Косменко Л.С., Решетняк О.С. Антропогенная трансформация компонентного состава водной среды устьевой области р. Лены // Водные ресурсы. 2011. Том 38. № 2. С. 181-192.

6. Никаноров А.М., Брызгалов В.А., Косменко Л.С., Кондакова М.Ю., Решетняк О.С. Антропогенная нагрузка на устья рек Российской Арктики // Вклад России в Международный полярный год 2007/08. Полярная криосфера и воды суши. Главный редактор тома В.М. Котляков. М.-СПб.: Paulsen Editions, 2011. С. 288-303.

7. Никаноров А.М., Брызгалов В.А., Решетняк О.С., Кондакова М.Ю. Транспорт загрязняющих веществ по крупным рекам Европейского Севера и Сибири // Водные ресурсы. 2015. Том 42. № 3. С. 279-287.

8. Р 52.24.776–2012. Рекомендации. Оценка антропогенной нагрузки и риска воздействия на устьевые области рек с учетом их региональных особенностей. Ростов-на-Дону: Росгидромет, ФГБУ «ГХИ», 2012. 32 с.

9. Решетняк О.С. Антропогенная нагрузка на водные экосистемы реки Колымы // География и природные ресурсы. 2015. №2. С. 47-52.

## ВЛИЯНИЕ СТОКА РЕКИ ЛЕНА НА ГИДРОХИМИЧЕСКУЮ СТРУКТУРУ ВОД МОРЯ ЛАПТЕВЫХ В ЛЕТНИЙ СЕЗОН

В.С. Рогожин<sup>1)</sup>, А.А. Полухин<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, [hr70851@gmail.com](mailto:hr70851@gmail.com)

<sup>2)</sup>Институт океанологии имени П.П. Шишова РАН, Москва

Море Лаптевых - окраинное материковое море, относящееся к бассейну Северного Ледовитого океана (Добровольский, Залогин, 1982). Ежегодные поступления речных вод в море Лаптевых составляют 745 км<sup>3</sup>, большая часть которых приходится на сток реки Лена – 525 км<sup>3</sup> [6]. Особенность материкового стока реки Лена – повышенная концентрация растворенных соединений кремния, в 3 раза превышающая концентрации в водах других сибирских рек: Оби, Енисея и т.д. [5]. Многолетние изменения объема стока реки Лена играют значительную роль в дальности распространения пресноводных линз в море Лаптевых. Процессы, которые идут в области интенсивного речного стока, оказывают влияние как в шельфовой зоне, так и в открытой части моря, в том числе, благодаря переносу больших по площади линз распресненной воды. Влияние речного стока в работе рассматривается в акватории от устья Лены до континентального склона моря Лаптевых. Зона смешения морских и речных вод играет важную роль в формировании гидрохимических и гидробиологических процессов в море.

Поступление пресных вод затрудняет вертикальное перемешивание в верхних слоях моря, соответственно усиливается стратификация водоема. Привнесенные речные воды, богатые биогенными элементами, способствуют развитию фитопланктона, повышая биологическую продуктивность вод.

В последние несколько десятилетий наблюдается постепенный рост годового стока реки Лена, однако наибольшим колебаниям подвержены зимние месяцы (ноябрь-март). Летний период имеет меньшую изменчивость [1]. Рассмотрим изменения стока в августе-сентябре 2007, 2008, 2015 и 2017 годов.

Значения речного стока (рисунок 1) за указанный период значительно различаются. Максимальные показатели стока наблюдаются в 2008 году, примерно 35-40 тыс. м<sup>3</sup>/с. В 2007 году значения лишь немного ниже, но они нас не интересуют, так как разрез 2007 года находится вне зоны опреснения речным стоком. Минимальные значения наблюдались в 2015 году и составили 17-20 тыс. м<sup>3</sup>/с, что практически в 2,5 раза ниже, чем в 2008 году. В 2017 году показатели стока составляли 27-30 тыс. м<sup>3</sup>/с, что ниже, чем в 2008 году, но выше, чем в 2015. Разница достаточно существенная, и, возможно, оказывает значительное влияние на дальность распространения речных вод в море.

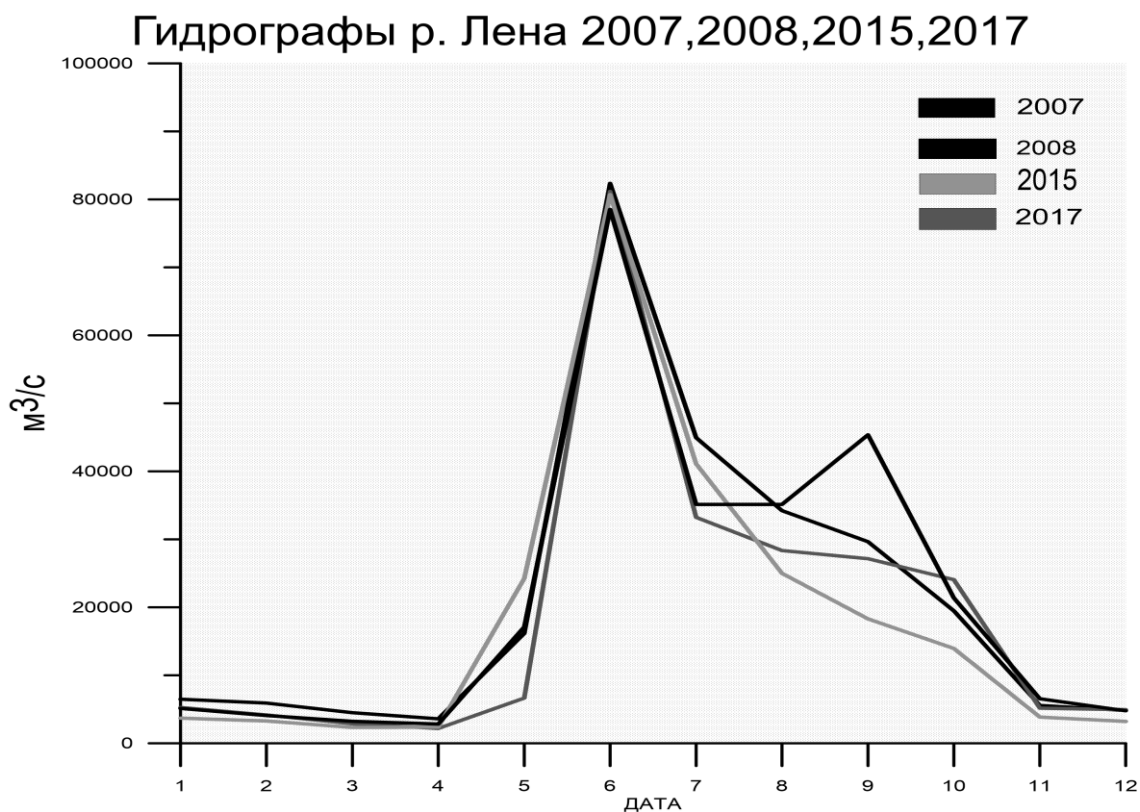


Рисунок 1 – Графики распределения стока реки Лены по месяцам за исследуемый период

Одними из основных трассеров речных вод являются растворенные соединения кремния. Максимальные значения растворенных соединений кремния в 2015 году наблюдались в приустьевом участке, достигая показателей в 70  $\mu\text{M}/\text{л}$  в поверхностном слое вблизи устьевой области реки (рисунок 2). В нижележащих слоях наблюдалось резкое уменьшение концентрации кремния (Si) до 30  $\mu\text{M}/\text{л}$  у дна (рисунок 2). Этот слой скачка имеет мощность 16 метров и градиент 2,5  $\mu\text{M}/\text{м}$ . При движении от приустьевой области на север, наблюдается постепенное уменьшение вертикального градиента концентрации кремния до 250 километров от устья. Далее к северу на глубинах 20-35 метров заметен «язык» пониженного содержания соединений кремния. Его верхняя граница совпадает с нижней границей зоны распреснения вод моря Лаптевых материковым стоком. Особенно это заметно в районе 76-78°с.ш., где язык пониженных показателей концентрации кремния распространяется примерно на 100 километров на глубине 20 метров. Концентрация растворенных соединений кремния может служить показателем, определяющим границу влияния речных вод. Основываясь на литературных данных, границу проводят по изолинии 10  $\mu\text{M}/\text{л}$  [3,4]. На рассматриваемом разрезе изолиния 10  $\mu\text{M}/\text{л}$  в целом определяет границу опреснения на глубинах 20-25 м.

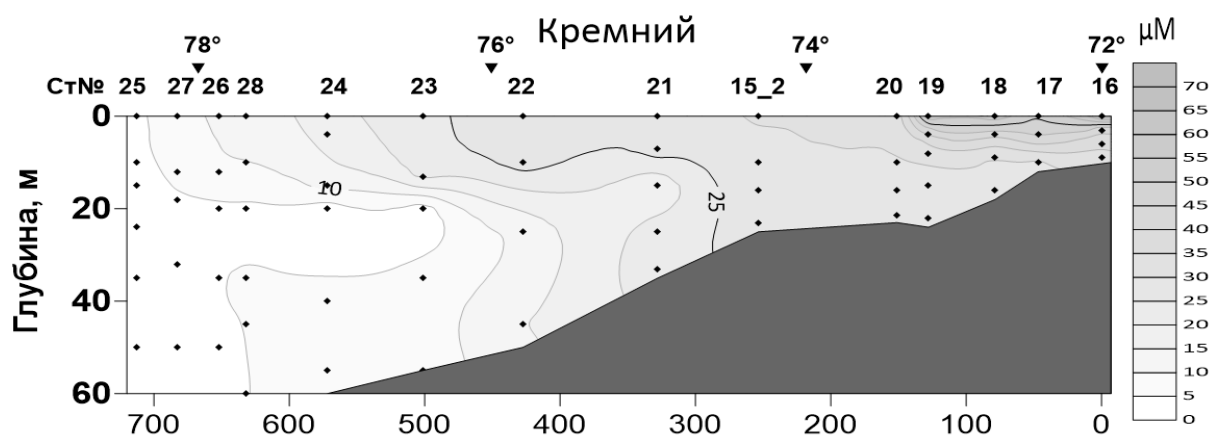


Рисунок 2 – Распределение растворенного кремния на разрезе от дельты р. Лена на север по 130° в.д. в сентябре 2015 г.

В 2017 году содержание растворенных соединений кремния в толще вод до 10 м увеличилось (рисунок 3). В районе станции, расположенной на 75° с.ш. показатели кремния достигали 30  $\mu\text{M}$ /л. Такие же значения концентрации кремния (30  $\mu\text{M}$ ) в 2015 году наблюдались южнее: в районе 74° с.ш., что указывает на увеличение в 2017 году дальности распространения распресненных вод на 100 километров.

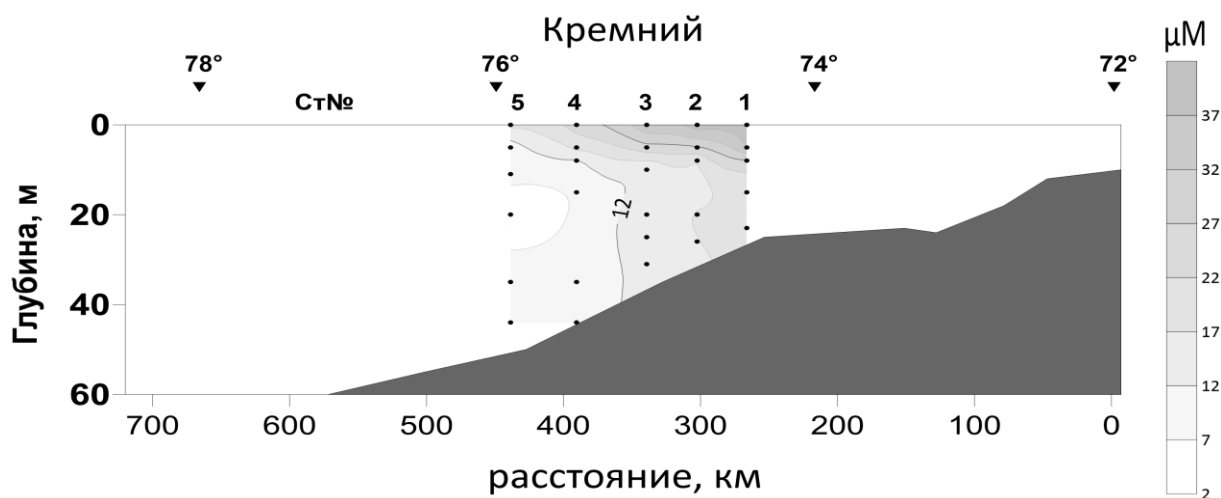


Рисунок 3 – Распределение и растворенного кремния на разрезе от дельты р. Лена на север по 130° в.д. в сентябре 2017 г.

Проанализировав данные, можно сформулировать следующие выводы:

- Влияние материкового стока прослеживается на всем протяжении от устья Лены до материкового склона преимущественно в верхнем квазиоднородном слое до 20 метров. В приустьевой мелководной зоне (до 10 м) влияние прослеживается во всей толще вод до дна.

- Поступление пресных вод влияет на распределение биогенных элементов, особенно кремния, который имеет вертикальное распределение, характерное для зоны смешения речных и морских вод: повышенное



содержание на поверхности, затем – слой скачка с минимальными значениями, после которого происходит повышение концентрации ко дну. Особенно хорошо это прослеживалось в 2015 году. В 2017 году ситуация немного изменилась, и распределение растворенных соединений кремния приобрело смешанный вид, где в приповерхностных слоях основные изменения происходили по пространству (по горизонтали), а в придонных – по глубине (по вертикали). Проведение границы влияния материковых вод по изолинии, соответствующей содержанию кремния 10 мкМ/л позволяет нам определить степень влияния реки на море.

Показатели растворенных соединений кремния, служащие индикаторами влияния материковых вод, в 2017 году были выше на 20 – 30 %, по сравнению с 2015 годом. В основном это проявлялось в приповерхностном слое до 15 метров. В среднем, эти показатели в 2017 году сдвинулись на 80–100 километров на север. Кроме того, доля речных вод в приповерхностном слое увеличилась также на 20 – 30 %. Это может быть связано с увеличением речного стока в августе-сентябре 2017 года примерно на 50 % по сравнению с аналогичным периодом 2015 года. Этот фактор играет существенную роль только в верхнем квазиоднородном слое (до 20 метров, выше границы пикноклина). В придонных слоях влияние не так ярко выражено, а при движении к северу и вовсе практически исчезает.

#### Список литературы

1. Георгиади А.Г., Кашутина Е.А. Особенности многолетних изменений годового и сезонного стока рек бассейна Лены // Изв. РАН. Сер. геогр. 2014. № 2. С. 71-83.
2. Добровольский А.Д., Залогин Б.С. Моря СССР. М.: Мысль, 1982. 196 с.
3. Русанов В.П. Гидрохимическая характеристика поверхностных вод Арктического бассейна // Биология Центрального Арктического бассейна. М.: Наука, 1980. С. 15-35.
4. Русанов В.П. Распределение кремния в поверхностных водах Арктического бассейна в зимний период // Океанология. 1974. Т.14. № 5. С. 823-830.
5. Cauwet G., Sidorov I. The biogeochemistry of Lena River: organic carbon and nutrients distribution // Mar.Chem. 1996. V. 53. P. 211-227.
6. Gordeev V.V., Martin J.M., Sidorov I.S., Sidorova M.V. Assessment of the Eurasian river input of water, sediment, major elements, and nutrients to the Arctic Ocean // American Journal of Science. 1996. Vol. 296, June. P. 664-691.

## ПРЕСНОВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ ЗАПАДНОГО ШПИЦБЕРГЕНА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

К.В. Ромашова, В.А. Брызгало, М.В. Третьяков

*Арктический и антарктический научно-исследовательский институт  
(ААНИИ), Санкт-Петербург, Россия, romashova.kv@hotmail.com*

Архипелаг Шпицберген в силу своего уникального географического положения, особенностей формирования водных ресурсов и своеобразия их биотической компоненты представляет собой прекрасный полигон с точки зрения изучения на фоновом уровне всего спектра ответных реакций разнообразных типов водных экосистем на внешнее воздействие естественного и антропогенного происхождения.

В полярных широтах устойчивость природных экосистем к внешним воздействиям в значительной мере определяется экстремальными природными условиями, что характерно и для архипелага Шпицберген. К числу таковых относятся низкие среднегодовые температуры, сложная гидрометеорологическая обстановка, дефицит кислорода, резкие вариации геомагнитного поля, долгие полярная ночь и полярный день. Нельзя недооценивать и негативную роль техногенного фактора. В последние годы усиление техногенного воздействия на экосистемы архипелага внушает серьезные опасения [1-2].

На Западном Шпицбергене к основным источникам загрязнения следует отнести: добычу угля в поселке Баренцбург, мощная ТЭЦ и котельные, отвалы сопутствующей породы.

Значительно меньший вклад в загрязнение вносят транспорт, геологоразведочные работы, отвалы золы, сжигание мусора.

Экологически важным и своевременным является оценка взаимосвязи техногенное воздействие – атмосферные осадки – снежный покров – почвенно-растительные покровы – ледники – ручьи – реки – озёра, которая требует проведения наблюдений с целью накопления банка данных для оценки последствий техногенного воздействия на окружающую среду Шпицбергена и для своевременного прогноза и предупреждения нежелательных последствий [3-4].

За период 2001–2018 гг. в ААНИИ накоплен большой информационный массив мониторинга на архипелаге Шпицберген, включающий в себя химико-аналитические исследования, в том числе изучение возможного загрязнения речных и озерных экосистем.

Началом комплексных исследований и накопления данных режимных наблюдений можно считать экспедицию на Шпицберген в сентябре 2001 г., когда программа гидрологических обследований была дополнена работами по отбору и анализу проб воды по гидрохимическим и гидробиологическим показателям.

В период с 2001 г. по 2018 г. экспедиционные гидролого-экологические обследования выполнялись на реках различных типов, которые включают

горные и долинные реки, реки с большой степенью оледенения водосбора и реки без ледникового питания, реки с регулированием стока озерами и без такого регулирования [5-6]. По данным этих исследований была впервые получена информация по основным гидролого-гидрохимическим характеристикам рек Грэн, Грэнфьорд, Бретьёрна, Альдегонда, Брюде, Конгресс, Колес, Эльза, Мимер и озер Бретьёрна, Конгресс, Биенда-Стемме, расположенных на их водосборах.

В целом анализ материалов гидролого-гидрохимических исследований рек и озер архипелага Шпицберген за 2001–2018 гг. позволил получить объективную оценку особенностей гидролого-гидрохимического режима исследуемых экосистем и возможный характер степени их загрязненности.

Впервые за годы исследований были проведены регулярные наблюдения за гидрохимическим режимом водотоков по следующим показателям: водородный показатель рН, удельная электропроводность, содержание общего и неорганического углерода, общая щелочность и концентрация гидрокарбонатов ( $\text{HCO}_3$ ), содержание катионов ( $\text{Ca}$ ;  $\text{Mg}$ ;  $\text{K}$ ;  $\text{NH}_4$ ) и анионов ( $\text{SO}_4$ ;  $\text{NO}_3$ ;  $\text{NO}_2$ ;  $\text{PO}_4$ ;  $\text{Br}$ ;  $\text{F}$ ).

Сбор и анализ накопленной информации позволил сделать нижеследующие обобщающие выводы.

Реакция водной среды всех исследуемых экосистем изменяется от нейтральной до слабощелочной.

Минерализация в целом изменяется от слабой до средней, наиболее минерализованы реки Конгресс, Грэн и Грэнфьорд.

Преобладающими ионами являются гидрокарбонаты, сульфаты, магний, кальций.

Реки бассейна залива Грэнфьорд делятся на два класса вод: гидрокарбонатных и сульфатных. К классу сульфатных относятся реки Грэн, Грэнфьорд и Конгресс.

Воды исследуемых объектов характеризуются крайне малым содержанием биогенных элементов и органического вещества. Концентрации нитритов, фосфатов и аммония находятся за пределами обнаружения метода измерений: менее 0,05 мг/л; менее 0,1 мг/л и менее 0,25 мг/л соответственно. Концентрация нитратов до 1,5 мг/л (наибольшее содержание в р. Грэн), а общего азота – до 0,5 мг/л. Значения кремния изменяются в пределах от минимальных 0,02 мг/л в р. Бретьёрна в 2015 г. до 2,44 мг/л в р. Конгресс. Наибольшую часть содержания общего углерода составляют гидрокарбонаты. Обнаружены следовые содержания общего азота.

На реках с преобладающим ледниковым питанием отмечается хорошая связь между стоком реки и доминирующими ионами. С уменьшением водности рек возрастает концентрация химических веществ, что связано с понижениями температуры воды и уменьшением ледникового питания водотоков. На реках Бретьёрна и Конгресс, вытекающих из одноименных озер, подобная связь практически отсутствует.

Содержание бромидов находится за пределами нижней границы определения метода, содержание фторидов изменяется в диапазоне от 0,02 до

0,50 мг/л и зачастую находится ниже границы обнаружения.

Воды озера Биенда-Стемме за весь период наблюдений характеризуются незначительной загрязненностью и относятся к 1-му классу качества – условно чистые и выраженного тренда к ухудшению качества не имеют.

Качество воды р. Грэн с 2007 г. характеризуется наличием выраженной тенденции к ухудшению состояния водного объекта от слабо загрязненной в 2007 году до очень загрязненной в 2013 г.

Опираясь на принятые в Росгидромете руководящие документы по методическим подходах к оценке последствий антропогенной нагрузки на пресноводные экосистемы [7], представилась возможность провести ориентировочную оценку состояния исследуемых рек (таблица 1).

Таблица – Состояние речных экосистем Западного Шпицбергена по азоту аммонийному и растворенному кислороду

Река	Азот аммонийный		Растворенный кислород	
	Модальный интервал концентрации, мг/л	Состояние экосистемы	Модальный интервал концентрации, мг/л	Состояние экосистемы
Альдегонда	н.о.–0,28	Переходное из естественного в равновесное	7,02–9,40	Естественное
Грэн	н.о.–0,25	Переходное из естественного в равновесное	10,1–12,2	Естественное
Грэнфьорд	< 0,25	Естественное	6,74–9,00	Естественное
Брюде	н.о.– 0,30	Переходное из естественного в равновесное	8,66–9,70	Естественное
Конгресс	< 0,25	Естественное	–	–
Бретьёрна	< 0,25	Естественное	–	–

По результатам наблюдений за кислородным режимом состояние исследуемых рек можно оценить как естественное при минимальных значениях растворенного кислорода 6,04–6,74 мг/л в реках Альдегонда и Грэнфьорд, и 8,66 мг/л – в р. Брюде.

По характеру изменчивости модального интервала концентраций азота аммонийного состояние экосистем можно оценить как переходное от естественного (реки Грэнфьорд, Колес, Конгресс, Бретьёрна) к равновесному (реки Альдегонда, Грэн, Брюде, Эльза).

Результаты анализа и обобщения накопленной многолетней гидролого-гидрохимической информации позволили сделать следующие на перспективу выводы:

– Для получения более полной и достоверной информации об экологической ситуации в районе расположения п. Баренцбург необходимо продолжение работ по фоновому и локальному экологическому мониторингу в части мониторинга загрязнения окружающей природной среды в районе

расположения п. Баренцбург с целью разработки региональной системы оценки качества пресноводных экосистем Шпицбергена.

– Для дальнейшего получения репрезентативной информации необходимо проведение специальных методических работ по развитию системы гидролого-гидрохимических наблюдений в переходные периоды весны и осени, а также развитие специализированных (в данных условиях) измерений, методов обработки полученных данных и методов расчета стока.

– Гидролого-гидрохимические исследования поверхностных водных объектов на архипелаге, несомненно, должны быть продолжены. Эти наблюдения необходимы не только для изучения собственно их режима, но и для изучения климатической системы атмосфера–криосфера–гидросфера–биосфера в целом, а также получения информации об особенностях режима и основных гидролого-гидрохимических характеристиках поверхностных водных объектов на таких труднодоступных широтах с еще очень скупо освещенными данными наблюдений.

#### Список литературы

1. Винокуров И.Ю. Перспективы нефтегазоносности центральной части архипелага Шпицберген // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Сборник материалов Третьей международной конференции. Выпуск 3. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2003. С. 67-69.

2. Гохман В.В. Водно-ледовый баланс Шпицбергена: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 1990. 20 с.

3. Демин Б.Н., Граевский А.П., Демешкин А.С., Власов С.В., Крылов С.С., Лалетин Н.А. Состояние и тенденции изменения загрязнения окружающей среды в местах хозяйственной деятельности российских предприятий на архипелаге Шпицберген (поселок Баренцбург и сопредельные территории) за период 2002-2010 гг. СПб., 2011. 316 с.

4. Дмитриев В.В., Третьяков В.Ю., Кулеш В.П., Огурцов А.Н., Васильев В.Ю., Бойцов А.В. Оценка устойчивости природных экосистем к антропогенному воздействию // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География. 1995. Вып. 2 (№ 14). С. 49-57.

5. Гохман В.В. Минерализация природных вод на Шпицбергене // Материалы гляциологических исследований. 1991. Вып. 72. С. 147-155.

6. Гохман В.В. Режим стока рек на о. Западный Шпицберген // Материалы гляциологических исследований. 1988. Вып. 62. С. 96-103.

7. Р 52.24.819-2014 Оценка антропогенной нагрузки на речные экосистемы с учетом их региональных особенностей. Ростов-на-Дону, 2014. 27 с.

## СЕЗОННАЯ МИГРАЦИЯ АЗОТА И ФОСФОРА В ГИПЕРСОЛЕНОМ ОЗЕРЕ ГАЛГАСС (КРЫМ)

И.И. Руднева<sup>1)</sup>, И.Н. Залевская<sup>2)</sup>, В.Г. Шайда<sup>1)</sup>, Г.Н. Меметлаева<sup>2)</sup>, А.В. Щерба<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>*ФИЦ Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН,  
Севастополь, e-mail:svg-41@mail.ru*

<sup>2)</sup>*Крымский Федеральный Университет им. В.И. Вернадского, Симферополь,  
e-mail:inz3@mail.ru*

Гиперсоленые озера интенсивно используются в хозяйственной деятельности человека: минералы рапы служат сырьем для химической промышленности, грунты применяются в лечебных целях в бальнеологии, косметической и фармацевтической индустрии, жаброногий рачок артемия – ценнейший стартовый корм для объектов аквакультуры [7, 8].

В Крыму насчитывается 45 гиперсоленых озер [1], площадь которых составляет около 52 000 га, а глубина колеблется в пределах 3 м. Соленость варьирует в широком диапазоне, изменяется в течение года и зависит от температурных колебаний и метеорологических условий в данном районе. Галгасское озеро расположено на западе Сакского района у села Молочного, входит в Евпаторийскую группу. Площадь озера 0,16 км<sup>2</sup>, площадь водосборного бассейна 11 км<sup>2</sup>, длина 420 м, средняя ширина 130 м, наибольшая 300 м, глубина 0,55 м. Галгасское озеро отделено от Чёрного моря перешейком, по которому проходит дорога без твёрдого покрытия. Озёрная котловина водоёма неправильной удлинённой формы, вытянутая с северо-запада на юго-восток, сужается к юго-востоку. Берега пологие. Реки не впадают. Восточнее озера расположена ферма, севернее проходит территориальная дорога сообщения Молочное – Витино. На дне водоема залегают толща донных отложений. Высшая водная растительность развивается в опреснённых верховьях озёра и у выходов мало минерализованных подземных вод, где интенсивно развиваются различные водоросли. Интенсивная вегетация микроводорослей приводит к развитию процессов эвтрофирования, что придает рапе красноватый или зеленоватый оттенок. Среднегодовое количество осадков около 400 мм. Питание смешанное за счет поверхностных и подземных вод. Озеро, благодаря наличию лечебных илов, используется в рекреационных целях для самолечения. На его берегах в летний период располагаются туристы, в результате чего на побережье остается мусор и несанкционированные свалки, в связи с чем водоем испытывает определенную антропогенную нагрузку.

Целью настоящей работы явилось исследование сезонных изменений некоторых гидрохимических показателей и содержания биогенных элементов гиперсоленого Галгасского озера

Пробы воды отбирали каждый месяц в течение 2017 г. Температуру измеряли непосредственно в воде с помощью электронного термометра HANNA Instruments Check Temp – 1 (Россия). Соленость воды определяли с

рефрактометром PAL-06S LTA GO (Япония) и выражали в промилле ‰.

Содержание нитритов анализировали фотометрическим методом с реактивом Грисса в соответствии с ПНДФ 14.1:2:4.3-951995 [2]. Содержание нитратов определяли потенциометрическим методом, изложенным в РД 52.24.367-2010. Концентрацию фосфатов в рапе устанавливали фотометрическим методом РД 52.24.382-2006 [3].

Все определения проводили в трех повторностях, вычисляли средние значения, которые анализировали.

Повышение температуры воздуха и соответственно воды в озере в летний период способствовали увеличению солености (рисунок 1), которая в течение 2017 г. существенно изменялась от 131 ‰ в феврале до 350 ‰ в июле, тогда как в период август - октябрь озеро пересохло. В ноябре с началом сезона дождей водоем вновь наполнился водой, но соленость при этом была 210-270 ‰.

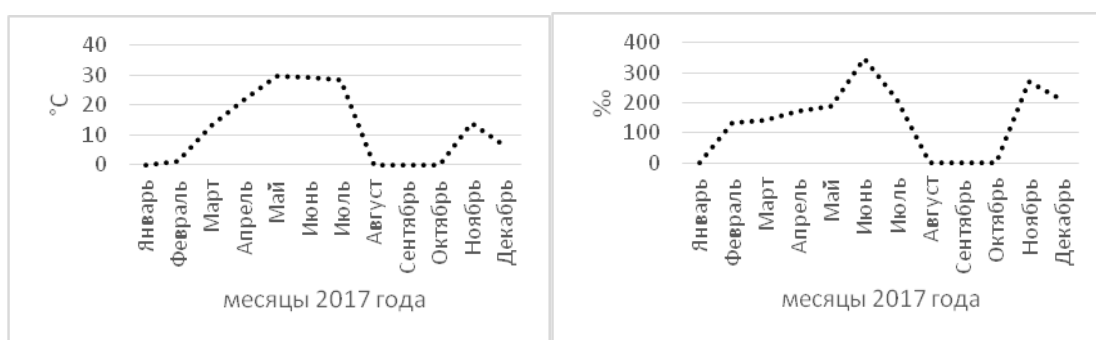


Рисунок 1 – Изменение температуры и солености воды в озере Галгасс

Концентрация нитратов в воде Галгасского озера варьировала от 529 мг/дм<sup>3</sup> до 1240 мг/дм<sup>3</sup>. При этом минимальные уровни были обнаружены в зимние месяцы, тогда как максимальные – с апреля по июль. В осенний период показатели снижались (рисунок 2).

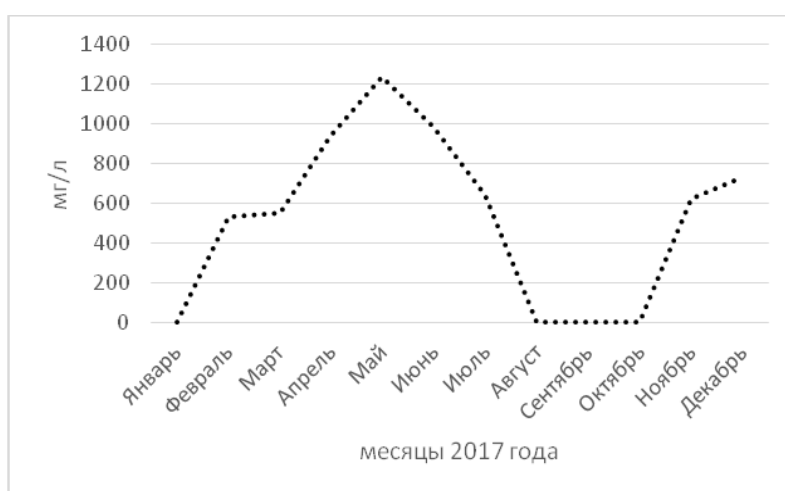


Рисунок 2 – Изменение содержания нитратов в воде озера Галгасс

Нитриты в воде обнаружены в основном в зимне-весенний период (рисунок 3) и небольшое количество в июне, максимальная концентрация отмечена в декабре (0,12 мг/дм<sup>3</sup>).

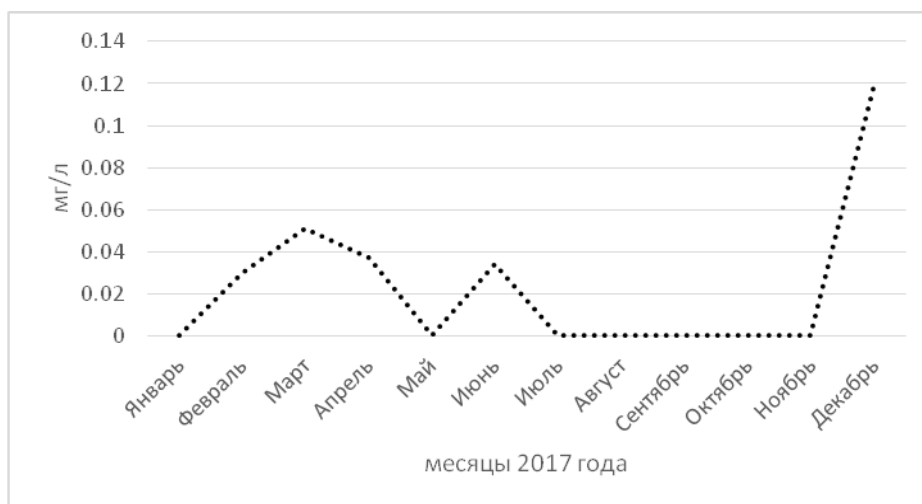


Рисунок 3 – Изменение содержания нитритов в воде озера Галгасс

Фосфаты в воде озера выявлены только в июне ( $0,43 \text{ мг/дм}^3$ ), в остальные периоды исследования они не найдены.

На основании результатов исследований установлена сезонная динамика содержания биогенных веществ в воде озера Галгасс, причиной которой являются как природные факторы, так и антропогенные. Выраженные годовые изменения, обусловленные флуктуациями метеорологических факторов и физико-химических показателей воды, отмечены для многих соленых водоемов, расположенных в разных географических зонах [4, 5]. Изменения концентрации биогенных веществ в воде данных объектов зависят от естественных факторов, связанных с развитием бактерио- и фитопланктона. Микроорганизмы принимают активное участие в трансформации азот- и фосфорсодержащих соединений, которые являются необходимыми компонентами для обеспечения их жизнедеятельности. Интенсивное развитие микроорганизмов, происходящее при повышенной температуре и наличии биогенов, приводит к эвтрофированию водоемов [6]. В соленых озерах Крыма это явление также имеет место. Активное развитие микроводорослей, прежде всего *Dunaliella salina*, содержащей значительные количества бета-каротина, придает воде яркую розовую окраску, о чем было сказано выше. В то же время высокие концентрации азотсодержащих соединений в летний период могут быть токсичными для гидробионтов, так как они превращаются в нитриты в результате микробиологических процессов, из которых, свою очередь, синтезируются нитрозамины, проявляющие канцерогенную и тератогенную активность.

Причиной повышенного содержания нитратов в воде озера Галгасс может быть также интенсивная рекреационная нагрузка на данный водоем в летний период и активная сельскохозяйственная деятельность на побережье. В теплое время года на берегах озера в части, непосредственно примыкающей к морю, располагаются туристы, которые используют грязи озера для самолечения.

Таким образом, сезонные исследования динамики содержания биогенных элементов в крымских озерах позволяют оценить их экологическое состояние и



определить рекреационную нагрузку на водоем. Данная информация может быть полезна для разработки мер по оптимальному использованию ресурсов соленых озер как в хозяйственных, так и в рекреационных целях, а также для разработки мероприятий по их охране.

*Работа выполнена по теме государственного задания ФГБУН ИМБИ «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом», номер гос. регистрации АААА-А18-118021490093-4.*

#### Список литературы

1. Гулов О.А. Экоцид крымских соляных озер // Теория и практика восстановления внутренних водоемов. Санкт-Петербург: Лема, 2007. С. 60-78.
2. РД 52.24.382-2006. Массовая концентрация фосфатов и полифосфатов в водах. Методика выполнения измерений фотометрическим методом.
3. ПНДФ 14.1:2: 4.3-95. Методика измерений массовой концентрации нитрит-ионов в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Грисса. 1995.
4. Di Meglio, L., Santos, F., Gomariz, M., Almansa, C., López, C., Antón, J., Necessian, D. Seasonal dynamics of extremely halophilic microbial communities in three Argentinian salterns // FEMS Microbiology & Ecology. 2016. Vol. 92. Is. 12. Article number fiw184.
5. Golan R., Itta Gavrieli I., Ganor J., Lazarc B. Controls on the pH of hypersaline lakes – A lesson from the Dead Sea // Earth and Planetary Science Letters. 2016. Vol. 434. P. 289-297.
6. Hargrave B.T., Holmer M., Newcombe C.P. Towards a classification of organic enrichment in marine sediments based on biochemical indicators // Marine Pollution Bulletin. 2008. Vol. 56. P. 810-824.
7. Shadkam S., Ludwig F., van Vliet T.H., Pastor A., Kabat P. Preserving the world second largest hypersaline lake under future irrigation and climate change // Science of the Total Environment. 2016. Vol. 559. P. 317-325.
8. Wooldridge T.H., Adams J.B., Fernandes M. Biotic responses to extreme hypersalinity in an arid zone estuary // South Africa Journal of Botany. 2016. Vol. 107. P.160-169.

## ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА КАЧЕСТВА ВОДЫ ГОРОДСКОГО ВОДОТОКА (НА ПРИМЕРЕ Р. ЛИХОБОРКА)

А.Н. Словягина, В.О. Полянин, Т.Б. Фащевская

*Институт водных проблем РАН, Москва, happyalexandra@yandex.ru*

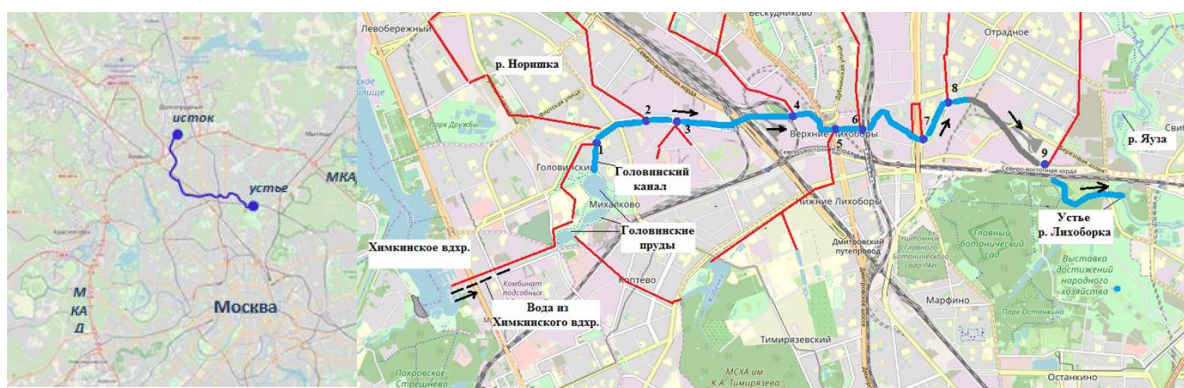
Качество воды городских водотоков формируется в условиях глубокой трансформации их водосборов. Русла таких рек частично засыпаны, спрямлены или забраны в подземные коллекторы, а сами реки являются приемниками ливневых вод и производственных стоков. Городская среда характеризуется наличием трудно проницаемых для атмосферных осадков территорий, искусственных покрытий и уплотненных грунтов, на поверхности которых накапливаются различные органические и неорганические вещества: от выбросов промышленных предприятий и автотранспорта, продукты разрушения дорожных покрытий, почв, растительности, остатки горюче-смазочных материалов и нефтепродуктов, антигололедные реагенты и другие компоненты, поступающие от многочисленных диффузных источников загрязнения.

Вместе с тальми и дождевыми водами происходит вынос загрязняющих веществ в речную сеть. Согласно [10] ухудшение качества воды в реках начинает проявляться, когда доля трудно проницаемых территорий в пределах речного бассейна превышает 10 % его площади, а при увеличении этой доли свыше 25 % происходит деградация водной экосистемы. Для правильного планирования развития урбанизированных территорий, организации городских ландшафтов и поддержания экологической устойчивости водных экосистем необходима оценка вклада неконтролируемых диффузных источников в загрязнение природных вод, который бывает весьма велик [1-3].

Количественная оценка такого вклада может быть выполнена либо путем проведения специально организованных подробных наблюдений, которые могут быть достаточно трудоемки, либо посредством математического моделирования [4], что, как правило, требует большого объема исходных данных. На практике иногда бывает полезно выполнить предварительную качественную оценку влияния источников диффузного загрязнения на водный объект и получить приближенное представление о характере антропогенного воздействия и причинах ухудшения качества воды. В настоящей статье представлена попытка реализации такого подхода для р. Лихоборки – типичного городского водотока, расположенного в пределах г. Москвы.

Река Лихоборка, самый крупный приток р. Яузы, берет свое начало за пределами Московской кольцевой автодороги (МКАД) – в Московской области и протекает по территории Северного и Северо-Восточного округов г. Москвы (рисунок 1а). Длина реки составляет около 17 км, из них 7 км проходят в подземных коллекторах, оставшаяся часть представляет собой условно естественное русло, местами в виде открытых каналов с искусственно укрепленными берегами. Особенности гидрографической сети, а также условия формирования водности реки позволяют разделить Лихоборку на два участка:

верхний – от истока до слияния с Головинским каналом и нижний – от канала до устья (рисунок 1б). Через Головинский канал, а также систему вышерасположенных проточных прудов с одноименным названием в р. Лихоборку поступает вода из Химкинского водохранилища для обводнения р. Яузы. Расчетная водоподача составляет 6 м<sup>3</sup>/с [6], фактическая (начиная с середины 1990-ых годов) – в среднем около 1 м<sup>3</sup>/с. Обводнительные попуски предназначены для улучшения санитарно-экологического состояния р. Яузы и разбавления загрязненных вод р. Лихоборки, которая вместе с ее притоками – рр. Бусинкой, Норишкой, Жабенкой и др. утратила характерные для природных водных объектов черты и является частью коллекторно-дренажной сети г. Москвы. Элементы этой сети в районе исследования, а также местоположение точек отбора проб для оценки влияния водовыпусков поверхностных сточных вод (ВВ) на качество речной воды представлены на рисунке 1б.



а

б

Рисунок 1 – Местоположение объекта исследования и точек отбора проб воды: а – р. Лихоборка на карте г. Москвы; б – точки отбора проб воды на исследуемом участке р. Лихоборки, 1...9 – номера водовыпусков

В таблице 1 приведено описание частных водосборов, характеризующихся определенным набором точечных и диффузных источников загрязнения р. Лихоборки, в замыкающих створах которых расположены исследуемые водовыпуски. Из таблицы 1 видно, что частные водосборы водовыпусков характеризуются наличием обширных промышленных зон, включающих объекты энергетики, заводы, складские помещения, авторемонтные мастерские и другие предприятия транспортного комплекса.

Для анализа качества воды р. Лихоборки использовались ежемесячные данные гидрохимических наблюдений ГПБУ «Мосэкомониторинг» за период 2016-2018 гг. на девяти водовыпусках (всего 107 проб воды). Анализировались следующие репрезентативные для оценки качества воды городского водотока показатели: нефтепродукты, БПК<sub>5</sub>, азот аммонийный, хлориды, сульфаты и взвешенные вещества. Поскольку в бассейне р. Лихоборки отсутствуют естественные водотоки или их участки, которые бы не испытывали влияния хозяйственной деятельности, в качестве фоновых использовались значения

показателей качества воды в Большом и Среднем Головинских прудах (рисунок 1б), в которые поступают относительно чистые воды из Канала им. Москвы.

Таблица 1 – Описание точек гидрохимического мониторинга водовыпусков (ВВ) коллекторно-дренажной сети в бассейне р. Лихоборки

Номер ВВ, расположение	Административный округ, район	Селитебная территория	Площадь, га	Краткое описание объектов-источников загрязнения
Водовыпуск 1, Головинские пруды	САО*, Головинский район	Промзона №44 "Братцево"	22,9	Находится на стадии реорганизации, идет жилое и коммерческое строительство
Водовыпуск 2, Лихоборская набережная д.5	САО, Ховрино, Головинский район	Промзона №46 "Коровино"	200	Рыбзавод Меридиан, Хладкомбинат №15, ТЭЦ - 21, Бусиновский мясоперерабатывающий комбинат, Трубозаготовительный комбинат, снегосплавные пункты, автобазы, автосервисы
	САО, Головинский район	Промзона №45 "Автомоторная"	60	Завод Моссельмаш, база (стоянка и ремонт) техники ГБУ, Автомобильные дороги САО, Опытный химико-технологический завод ВНИИХТ, ПК "Аурат"
Водовыпуск 3, ул. Автомоторная	САО, Головинский район	Промзона №45 "Автомоторная"	60	Растворно бетонный узел и множество автомастерских.
Водовыпуск 4 Дегунино	САО, часть района Западное Дегунино	Промзона №48 "Дегунино-Лихоборы"	10	ГУП Авторемонтный завод, ОАО "Владыкинский механический завод", Электродепо "Лихоборы", Автобусный парк, Московский машиностроительный завод "Знамя"
	САО, часть районов Дмитровский и Дегунино Восточное	Промзона №47 «Вагонремонт»		ФГУП "Лианозовский электромеханический завод", ОАО "Конструкторское бюро "ЛИРА", ОАО "НИИ Стали", ОАО "Завод нестандартных строительных конструкций", ООО "Производственно-монтажный комбинат "ПРОМОКОМ", ОАО "Лианозовский молочный комбинат"
Водовыпуск 5, р. Жабенка	САО Тимирязевский район	Территория Тимирязевской академии	33	Парк, опытные поля, высадка различных культур и растений, использование удобрений и др. средств.
Водовыпуск 6 Бескудниково	СВАО, часть Алтуфьевского района, часть района Отрадное	Промзона №49 Бескудниково	95,4	Складские комплексы, автосервисы.
Водовыпуск 7,8 Алтуфьевское шоссе	СВАО, часть районов Алтуфьево и Отрадное	Промзона № 50 Алтуфьевское шоссе	272	ЗАО "Опытно-экспериментальный комбинат рекламно-оформительских работ", ОАО "МПО им. И. Румянцева", ОАО "Колбасный завод "Отрадное"
Водовыпуск 9 Промзона Владыкино	СВАО, Отрадное	Промзона №10 Владыкино	19	Гаражная территория, складские помещения, стоянка

\*Примечание: САО – Северный административный округ, СВАО – Северо-Восточный административный округ

Количество проб воды, по которым рассчитывались средние фоновые значения различных показателей качества, варьирует от 19 до 29. Кроме того, выполнено сравнение результатов наблюдений с предельно допустимыми концентрациями, установленными для водных объектов культурно-бытового и рыбохозяйственного назначения (таблица 2) [5, 7, 8].

Концентрации *нефтепродуктов* варьировали на всех ВВ в диапазоне 0,09-1,24 мг/л, что соответствует превышению ПДК<sub>рх</sub> в 1,8-24,8 раза. Среднее за многолетний период содержание нефтепродуктов в поверхностном стоке достаточно постоянно и составляет около 0,2 мг/л, что в 7 раз больше их фонового содержания в Большом Головинском пруду.

Таблица 2 – Фоновые и предельно допустимые значения исследуемых показателей качества воды, мг/л

Показатель качества	Фоновые концентрации		ПДК	
	в Большом Головинском пруду	в Среднем Головинском пруду	ПДК <sub>кб</sub> *	ПДК <sub>рх</sub> *
Нефтепродукты	0,03	0,06	0,3	0,05
Азот аммонийный	0,22	0,23	1,5	0,4
БПК <sub>5</sub>	3,30	2,94	4,0	2,1

*\*Примечание:* ПДК<sub>кб</sub> – предельно допустимая концентрация для водотоков хозяйственно-бытового водопользования, ПДК<sub>рх</sub> – для водотоков рыбохозяйственного водопользования

Наблюдается закономерность увеличения концентраций нефтепродуктов в поверхностном стоке (за исключением ВВ1 и ВВ9) в декабре до ~ 6 раз (рисунок 2а). По-видимому, это связано с погодой, характерной для конца года в течение рассматриваемых лет [9]: выпадающие жидкие и твердые осадки, а также регулярные оттепели и таяние снега способствуют более интенсивному вымыванию нефтепродуктов с водосбора.

Измеренные за исследуемый период значения величины *БПК<sub>5</sub>* варьировали в диапазоне 2,8-14,7 мг/л, что составляет 1,4-7,4 ПДК<sub>рх</sub>. Нижняя граница диапазона соответствует фоновому содержанию легкоокисляемых органических веществ (таблица 2), верхняя граница связана с дополнительным их поступлением с городской территории от диффузных источников. В среднем за многолетний период во все месяцы года величина БПК<sub>5</sub> в поверхностном стоке составляет ~3,7 мг/л (~2 ПДК<sub>рх</sub>). Наблюдается аналогичная нефтепродуктам закономерность увеличения величины БПК<sub>5</sub> (за исключением ВВ1 и ВВ9) в декабре месяце до ~4 раз.

Содержание *азота аммонийного* на всех ВВ варьировало в диапазоне 0,22-1,49 мг/л, что соответственно составляет 0,6-3,7 ПДК<sub>рх</sub>. Количество проб воды с концентрацией азота аммонийного выше предельно допустимого значения достигает 87%. Нижняя граница диапазона соответствует фоновому содержанию азота аммонийного (таблица 2), верхняя граница связана с дополнительным его поступлением с городской территории. Внутригодовые изменения концентрации этого показателя биогенной нагрузки происходят скачкообразно, без четко выраженной тенденции. Это может указывать на то,

что в городских поверхностных водах периодически присутствуют стоки хозяйственно-бытовой канализации, что является косвенным индикатором несанкционированного подключения жилых домов, гаражей, незаконных сооружений к сетям водостока для сброса фекальных вод.

Измеренные за исследуемый период концентрации *хлоридов* (рисунок 2б) на всех водовыпусках варьировали в диапазоне 18,1-494 мг/л, что соответственно составляет ~0,1-1,6 ПДК<sub>рх</sub>. Количество проб воды с концентрацией хлоридов выше предельно допустимого значения составляет 13 %. Среднемноголетним максимальным содержанием хлоридов в поверхностном стоке характеризуется ВВ2 (232 мг/л), среднемноголетним минимальным – ВВ5 (164 мг/л).

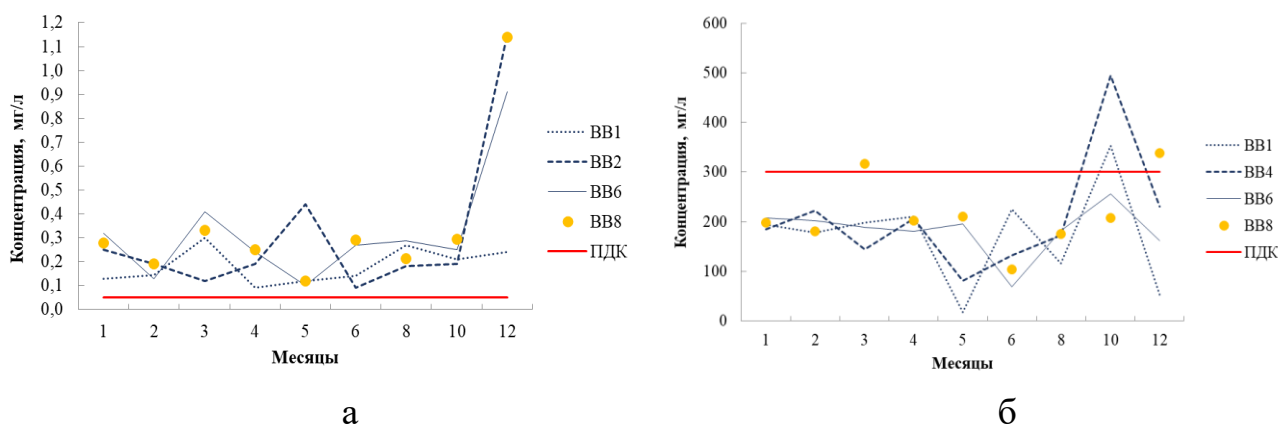


Рисунок 2 – Средние многолетние концентрация нефтепродуктов (а) и хлоридов (б) в поверхностном стоке на водовыпусках ВВ (по данным ГПБУ Мосэкомониторинг за 2016-2018 гг.)

Наибольшие концентрации хлоридов в поверхностном стоке на ВВ 2, 7-9 наблюдаются в феврале и марте, на остальных ВВ – в период с октября по декабрь. Наименьшие концентрации хлоридов почти на всех ВВ – в июне, июле. Сезонное увеличение хлоридов в поверхностном стоке может быть связано с использованием на водосборе противогололедных реагентов (ПГР). Пространственные различия в содержании хлоридов, по-видимому, связаны с различными площадями обрабатываемых ПГР поверхностей.

Измеренные концентрации *сульфатов* на всех ВВ варьировали в диапазоне 16,5-191 мг/л, что соответствует 0,2-1,9 ПДК<sub>рх</sub>. Количество проб воды с концентрацией сульфатов выше предельно допустимого значения составляет 16 %. Наибольшие концентрации сульфатов в поверхностном стоке наблюдаются в период с октября по декабрь, на ВВ 7-9 – в феврале и марте. Наименьшие концентрации сульфатов почти на всех ВВ – в июне, июле, на ВВ 2, 6, 8 – также и в январе. Максимальным среднемноголетним содержанием сульфатов в поверхностном стоке характеризуется ВВ2 (83 мг/л), среднемноголетним минимальным – ВВ 4, 5 (62,5-67 мг/л).

Наблюдаются почти синхронные внутригодовые и пространственные изменения содержания в поверхностном стоке хлоридов и сульфатов, что характерно для главных ионов – макрокомпонентов воды поверхностных

водных объектов. Однако соотношение концентраций хлоридов и сульфатов в поверхностном стоке свидетельствует о мощном влиянии на его химический состав ПГР. Известно, что химический состав водных объектов суши характеризуется превышением содержания сульфатных ионов над хлоридными. Основными компонентами ПГР являются соли: хлориды натрия, кальция, калия, магния и др. Это приводит к превышению содержания в поверхностном стоке хлоридов над сульфатами, т.е. преобразованию его химического состава по морскому типу.

Интенсивное градостроительство в г. Москве способствует тому, что в пределах рассматриваемых частных водосборов ведется активная жилая застройка, вследствие чего происходит значительное поступление взвешенных веществ в поверхностные воды. Измеренные за исследуемый период значения концентраций *взвешенных веществ* на всех ВВ варьировали в диапазоне 5,1-26,8 мг/л, что соответственно составляет 0,5-2,5 ПДК<sub>рх</sub> (принятой для р. Лихоборки 10,75 мг/л). Количество проб воды с концентрацией взвешенных веществ выше предельно допустимого значения - 80 %. Максимальным среднегодовым содержанием взвешенных веществ в поверхностном стоке характеризуется ВВ3 (17 мг/л), на водосборе которого располагаются два растворно-бетонных узла, один из которых не оборудован отстойниками. В этой связи происходят систематические поступления бетонного раствора в поверхностный сток на данном водовыпуске. Среднегодовым минимальным содержанием взвешенных веществ в поверхностном стоке характеризуются ВВ 1, 2, 4, 5 (~13,0 мг/л).

#### Выводы

1. Выполнена оценка влияния диффузных источников, расположенных на водосборе р. Лихоборки, на качество ее воды по показателям: нефтепродукты, азот аммонийный, хлориды, сульфаты, БПК<sub>5</sub>, взвешенные вещества.
2. Установлены пространственно-временные различия в содержании загрязняющих веществ, обусловленные, в основном, особенностями хозяйственной деятельности на различных участках городского водосбора.

#### Список литературы

1. Гордин И.В., Кирпичникова Н.В., Лахтук Р.А. Динамика загрязнения Верхней Волги талым стоком городских территорий // Водные ресурсы. 1990. № 2. С.37-42.
2. Кирпичникова Н.В. Исследование неконтролируемых источников загрязнения водных объектов: на примере Ивановского водохранилища. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., ИВП РАН и ВНИИ ВОДГЕО, 1991. 23 с.
3. Китаев Л. М. Закономерности миграции химических соединений с поверхностным стоком на городских территориях // Проблемы экоинформатики / Сб. ст. М.: РАН, ИРЭ 1992. С. 53-58.
4. Михайлов С.А. Диффузное загрязнение водных экосистем. Методы оценки и математические модели: Аналит. обзор. Барнаул: День, 2000. 130 с.

5. Нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения, утв. приказом Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552.

6. Постановление Совмина РСФСР от 28.08.1963 № 1059 "О мерах по прекращению загрязнения неочищенными сточными водами реки Москвы и других водоемов г. Москвы и Московской области".

7. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Гигиенические нормативы ГН 2.1.5.1315-03.

8. СанПиН 2.1.5.980-00. 2.1.5. Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. Санитарные правила и нормы" (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 22.06.2000) (с изм. от 04.02.2011, с изм. от 25.09.2014).

9. Электронный ресурс. Дневник погоды для школьников. Доступно по ссылке: <https://www.gismeteo.ru/diary/4368/2018/12/>. Дата обращения 10.04.2020.

10. Center for Watershed Protection, Watershed Protection Research Monograph No. 1: Impacts of Impervious Cover on Aquatic Systems. Ellicott City: Center for Watershed Protection. 2003.



## ВЛИЯНИЕ ГОРНОРУДНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА МИГРАЦИЮ МЕТАЛЛОВ В АКВАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ СТЕПНЫХ ЛАНДШАФТОВ

В.В. Сомов, М.Г. Опекунова, А.Ю. Опекунов, С.Ю. Кукушкин  
Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,  
vomos\_v\_v@mail.ru

Разработка медно-колчеданных месторождений оказывает разностороннее влияние на свойства компонентов ландшафта, а также на их взаимодействие, в том числе на миграцию химических элементов, особенно рудных и аксессуарных элементов (в первую очередь Cu, Zn, Fe, Cd и Pb). Район исследования расположен в Баймакском районе Республики Башкортостан (52°35' – 52°55' с.ш., 58°14' – 58°47' в.д.), в пределах Красноуральско-Сибай-Гайской рудоносной зоны. В естественных условиях для данной территории характерна относительно слабая радиальная и латеральная миграция рудных и аксессуарных элементов в ландшафтах. Горнодобывающее производство в г. Сибай функционирует в течение более чем 70 лет. Эмиссионное воздействие (поступление в атмосферу пыли с поверхности хвостохранилищ и отвалов, поступление подотвальных и карьерных вод в водотоки и др.) приводит к изменению подвижности, потоков и запасов химических элементов, в том числе к их накоплению в водных объектах [9, 10, 13].

Сбор образцов воды, донных осадков (ДО), почв, побегов тростника (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex Steud.), трех видов рыб (карася серебряного *Carassius gibelio*, окуня *Perca fluviatilis*, щука *Esox lucius*) производился в период 2014-2019 гг. Валовое содержание тяжелых металлов (ТМ – Cu, Zn, Fe, Mn, Ni, Co, Cr, Pb, Cd) в ДО, почвах и тростнике производилось методом ICP-MS (с полным кислотным разложением); содержание подвижных форм ТМ в ДО, извлекаемых ацетатно-аммонийным буфером (рН 4,8), и содержание ТМ в мышцах рыб – атомно-абсорбционным методом в соответствии с ГОСТ 30178-96 и ГОСТ 26929-94. Интенсивность миграции оценивалась с помощью коэффициентов дифференциации: а) почвенно-седиментационного коэффициента  $K_{s-s} = C_{sed}/C_{soil}$ , где  $C_{sed}$  и  $C_{soil}$  – валовые содержания элемента в поверхностном слое донных осадков и поверхностном слое почвы прибрежной фации соответственно (Опекунов и др., 2018); б) коэффициента биоаккумуляции  $КБА_{подв} = C_p/C_{подв}$ , где  $C_p$  и  $C_{подв}$  – содержание элемента в растении и его подвижных форм в субстрате (в данном случае – в ДО) соответственно; в) коэффициента биоконцентрации  $КБК = C_{рыба}/C_{вода}$ , где  $C_{рыба}$  и  $C_{вода}$  – содержание элемента в мышцах рыбы и его концентрация в воде.

Проточное озеро Талкас (площадь – 4,20 км<sup>2</sup>, средняя глубина 4,5 м), расположенное в 25 км к северо-западу от г. Сибай, рассматривается как фоновый водоем. Анионно-катионный состав, минерализация и рН вод оз. Талкас соответствуют характерным для озер Башкирского Зауралья значениям. Концентрация Mn, Cu и Zn в воде озера превышает ПДК для водоемов рыбохозяйственного значения, в том числе Cu и Zn – в 3 и 8 раз соответственно. Это является проявлением естественной геохимической

аномалии [6], характеризующейся высоким содержанием рудных элементов во всех компонентах ландшафтов. Значения  $K_{s-s}$  для оз. Талкас чуть меньше 1 (0,6-0,9), что отражает относительно слабую латеральную миграцию элементов в нижней части катены. Наиболее распространенный в изученных водных объектах представитель гидрофитов – тростник рассматривался как вид-индикатор содержания рудных элементов в субстрате, а также как составляющая часть биогеохимического барьера. Содержания Cu, Zn, Fe и Mn в побегах тростника (таблица 1), в целом, соответствуют опубликованным значениям как для изученной территории [3], так и для удаленных водных объектов [2, 12].

Таблица 1 – Содержание ТМ в тростнике и в донных осадках (мг/кг); среднее (ошибка дана для 5 % уровня значимости), медиана (в квадратных скобках)

Водный объект	Тростник		Донные осадки (подвижные формы)		Донные осадки (валовое содержание)	
	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn
оз. Талкас (фон)	2,30	10,23	1,40±1,99	4,06±2,01	62±9	75±5
	-	-	[0,44]	[3,32]	-	-
оз. Култубан	1,40	9,49	3,53±0,58	19,6±2,7	165±7	248±23
	-	-	[3,63]	[21,0]	-	-
р. Камышлы-Узяк	8,09±2,73	39±13	2,20±1,23	17,8±13,5	123±31	256±102
	[7,56]	[36,8]	[2,35]	[13,3]	[117]	[187]
р. Карагайлы	9,28±2,23	82±23	636±258	2713±3369	6197±1152	8279±1831
	[9,41]	[78,7]	[580]	[1160]	[6555]	[7045]

Бессточное озеро Култубан (площадь – 7,20 км<sup>2</sup>, средняя глубина – 4,2 м), расположенное в 5 км к югу от Сибайского карьера, испытывает умеренное загрязнение. Характеристики воды сопоставимы с таковыми для оз. Талкас, но концентрация Mn и Fe в воде выше в 5 и 2,5 раза соответственно. Высокая концентрация Mn, вероятно, отражает локальную рудную вкрапленность (проявляющуюся, например, в повышенном содержании Mn в почвах водосбора), повышенная концентрация Fe может объясняться более высокой минерализацией воды. В ДО валовое содержание Cu и Pb повышено в 2-2,5 раза, Zn и Cd – в 3-3,5 раза по сравнению с оз. Талкас. В сочетании со скоростями осадконакопления в водоемах Южного Урала это позволяет утверждать, что имело место загрязнение со стороны горнопромышленных объектов. Для Култубана отмечено увеличение значений  $K_{s-s}$  Cu (с 0,7 до 1,2), Zn (с 0,6 до 1,1), Cd (с 0,8 до 1,1), Pb (с 0,6 до 0,9), что свидетельствует об интенсификации латеральной миграции этих элементов и их накоплении в аккумулятивных аквальных фациях. Содержание подвижных форм Zn, Fe, Cd (в меньшей степени Cu) в ДО оз. Култубан повышено по сравнению с оз. Талкас, что может быть связано с загрязнением – увеличение доли подвижных форм ТМ вдоль градиента загрязнения отмечено в почвах.

В то же время, заметного роста содержания ТМ в живых организмах (тростник, представители ихтиофауны) по сравнению с оз. Талкас не наблюдается. В побегах тростника отмечено лишь повышенное содержание Mn,

что, вероятно, отражает естественные геохимические особенности. Отсутствие различий может объясняться как саморегулированием организмами своего элементного состава, так и свойствами воды озер. Содержания ТМ в воде невысоки, в частности, они ниже опасных для карася, щуки и окуня значений. Слабощелочная реакция (рН 8,2-8,8), относительно высокая концентрация  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  и органического вещества снижают содержание ионов ТМ (в первую очередь  $\text{Cu}$  и  $\text{Zn}$ ) в воде, препятствуют поглощению ТМ рыбами через жабры.

Содержание ТМ в мышцах рыб, пойманных в обоих озерах, соответствует требованиям гигиенических нормативов (СанПиН 2.3.2.1078-01) и, как правило, соответствует физиологической норме [11, цит. 1]. Они сопоставимы со значениями, отмеченными для оз. Култубан, близлежащих и удаленных рек и озер [1, 4, 5].

Объекты горнорудного производства расположены в черте города Сибай или прилегают к ней. Это Сибайский и Камаганский карьеры, их отвалы, обогатительная фабрика и хвостохранилища. По территории г. Сибай протекают небольшие реки: Камышлы-Узяк и Карагайлы. По содержанию ТМ в ДО Камышлы-Узяк мало отличается от оз. Култубан (исключение – более высокое валовое содержание  $\text{Fe}$  и  $\text{Ni}$ ). Для р. Камышлы-Узяк среднее значение и медиана  $K_{s-s}$  близки к 1 (0,9-1,2), как и для Култубана. Вместе с тем содержание  $\text{Cu}$ ,  $\text{Zn}$  и  $\text{Fe}$  (в меньшей степени  $\text{Ni}$ ) в тростнике существенно повышено по сравнению со значениями, типичными для озер. Как следствие, значения  $KBA_{\text{подв}}$   $\text{Cu}$ ,  $\text{Cr}$  и  $\text{Co}$  (в меньшей степени  $\text{Pb}$ ) здесь заметно выше, чем в прочих водных объектах (таблица 2).  $KBA_{\text{подв}}$   $\text{Zn}$  выше, чем в оз. Култубан и р. Карагайлы, но в несколько раз ниже, чем в фоновом оз. Талкас.

Таблица 2 – Значения  $KBA_{\text{подв}}$  ТМ тростником ( %): среднее (ошибка среднего дана для 5 % уровня значимости), медиана (в квадратных скобках)

Cu	Zn	Fe	Mn	Ni	Pb	Cd	Co	Cr
оз. Талкас (фон)								
27,7	959	84,5	4,9	12,8	8,3	25,3	1,5	23,4
оз. Култубан								
31,2	29,8	133,1	17,1	105,7	0,9	4,8	6,1	30,5
р. Камышлы-Узяк								
398±344	228±127	1057±1246	91±115	33±19	51±71	54±53	68±52	1477±1910
[214]	[218]	[142]	[38]	[23]	[24]	[12]	[50]	[255]
р. Карагайлы								
2,97±2,36	14,8±12,4	291±604	474±438	255±525	69±130	10±12	55±116	46±32
[1,68]	[6,5]	[19]	[170]	[17]	[5,1]	[3,3]	[3,6]	[32]

Вода р. Карагайлы вблизи истока имеет свойства, типичные для рек Башкирского Зауралья. Около Сибайского карьера в реку поступают подотвальные и карьерные воды, что приводит к резкому снижению рН, росту минерализации, изменению анионно-катионного состава, росту в несколько раз содержания  $\text{Cu}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Cd}$ ,  $\text{Fe}$  (таблица 1). В ДО резко повышены содержания  $\text{Cu}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Fe}$  и  $\text{Cd}$  (в меньшей степени  $\text{Co}$  и  $\text{Pb}$ ). Валовые содержания ТМ максимальны в разливах в среднем течении реки ( $\text{Cu}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Fe}$ ), на месте

спущенного пруда в среднем течении реки (Zn), а также в устье реки (Cd, Zn, Fe). Рост среднего значения и медианы сопровождается значительным увеличением дисперсии. Изменения геохимической обстановки и содержаний ТМ в воде и ДО реки подробно описаны в предшествующих публикациях [7, 8].

В р. Карагайлы роль береговых почв как источника ТМ невелика, преобладает поступление с подотвальными, карьерными и сточными водами. Медиана  $K_{s-s}$  превышает 2 (Cu, Fe) и 1,5 (Zn). Тем не менее, в некоторых случаях  $K_{s-s}$  существенно меньше 1 (около 0,5): в верхнем течении реки (Pb, Cd, в меньшей степени Fe и Zn), а также в разливе в среднем течении реки (Pb, Zn). Для этих участков типичны повышенные содержания перечисленных элементов в поверхностном слое почвы, там существует опасность загрязнения донных осадков ТМ за счет смыва с берега.

Для р. Карагайлы отмечено снижение содержания Zn в тростнике по сравнению с 2004-2005 гг. (Опекунов и др., 2010), что может быть связано с прекращением добычи руды открытым способом в Сибайском карьере в 2004 г. (снижение содержания металлов примерно в то же время отмечено в побегах некоторых наземных растений), а также с захватом ТМ искусственным геохимическим барьером, появившимся в результате запуска очистных сооружений в 2011 г.

Несмотря на сильное загрязнение воды и ДО, в побегах тростника, произрастающего в р. Карагайлы, по сравнению с тростником из р. Камышлы-Узяк, заметно повышается только содержание Zn. Описанные особенности содержания элементов в донных осадках и тростнике определяют резкое снижение значений  $KBA_{подв}$  Cu, Zn, Fe по сравнению с прочими водоемами. Рыбы в р. Карагайлы нет.

Таким образом, тенденция изменения содержания ТМ в побегах тростника вдоль градиента загрязнения не отвечает таковой содержания подвижных форм тех же элементов в ДО. Разграничение водных объектов по содержанию ТМ в тростнике нуждается в дополнительном изучении. Возможно, различие связано с более интенсивным аэральным загрязнением территории города по сравнению с оз. Култубан: оно проявляется в повышенном содержании ТМ в почвах и почвогрунтах, но не в ДО (исключения – Fe и Ni).

Значения коэффициентов биоконцентрации ТМ представителями ихтиофауны (как полученные авторами, так и представленные в литературе) отличаются значительным разбросом, их сопоставление не позволяет сделать определенных выводов и требует дополнительного исследования.

*Исследования проведены при поддержке гранта РФФИ 18-05-00217.*

#### Список литературы

1. Аминева Ф.А. Состояние ихтиофауны в зоне водосброса горно-обогатительного комбината: автореф. дис. канд. биол. наук: 03.02.14. М., 2011. 22 с.

2. Базарова Б.Б. Концентрация тяжелых металлов в *Phragmites australis* (Cav.) Trin. En Steud озера Кенон (Забайкальский край) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 10. С. 46-48.
3. Бактыбаева З.Б., Суюндуков Я.Т., Ямалов С.М., Юнусбаев У.Б. Загрязнение тяжелыми металлами экосистемы реки Таналык, сообщества водных макрофитов и возможности их использования для биологической очистки. Уфа: Гилем, 2011. 206 с.
4. Галатова Е.А., Таирова А.Р. Содержание химических элементов в мышечной ткани рыб различных семейств // Аграрный вестник Урала. 2008. №7. С. 46-47.
5. Давыдова Н.А., Нохрин Д.Ю., Грибовский Ю.Г. Особенности микроэлементного состава органов и тканей рыбы Магнитогорского водохранилища // Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2009. № 2. С. 9-15.
6. Ковальский В.В., Кривицкий В.А., Алексеева С.А., Летунова С.В., Опекунова М.Г., Скарлыгина-Уфимцева М.Д., Берман Ш., Илзиль А., Петерсон Н., Жогова Е.П., Рублик Р.Я. Южно-Уральский субрегион биосферы // Тр. биогеохимической лаборатории. 1981. Т. 19. С. 3-64.
7. Опекунов А.Ю., Леонтьева Л.В., Куприна М.С. Геохимические особенности современного осадкообразования в районе разработки Сибайского медноколчеданного месторождения (Южный Урал) // Вестник СПбГУ. Сер. 7, Геология. География. 2010. Вып. 2. С. 84-98.
8. Опекунов А.Ю., Опекунова М.Г., Сомов В.В., Митрофанова Е.С., Кукушкин С.Ю. Влияние разработки Сибайского месторождения (Южный Урал) на трансформацию потока металлов в подчиненных ландшафтах // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5, География. 2018. № 1. С. 14-24.
9. Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю., Папян Э.Э., Сомов В.В. Использование биоиндикационных свойств растительности при оценке трансформации ландшафтов в районе разработки Сибайского медноколчеданного месторождения (Южный Урал) // Сибирский экологический журнал. 2017. № 3. С. 350-366.
10. Сомов В.В. Миграция и аккумуляция тяжелых металлов в природных и антропогенно преобразованных ландшафтах Башкирского Зауралья: дис. канд. геогр. наук: 25.00.36. СПб, 2018. 131 с.
11. Сухопарова В.Н. Уровни содержания тяжелых металлов в различных биологических средах. М.: Колос, 1994. 204 с.
12. Bonanno G. Trace element accumulation and distribution in the organs of *Phragmites australis* (common reed) and biomonitoring applications // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2011. Vol. 74. P. 1057-1064.
13. Opekunova M., Opekunov A., Somov V., Kukushkin S., Papayan E. Transformation of metals migration and biogeochemical cycling under the influence of copper mining production (the Southern Urals). Catena. 2020. 189. 104512.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МАРГАНЦЕМ ВОДОТОКОВ В БАССЕЙНЕ НИЖНЕКАМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Т.Б. Фащевская, Ю.Г. Мотовилов

*Институт водных проблем РАН, Москва, РФ, tf.ugatu@yandex.ru*

На протяжении нескольких десятилетий соединения марганца являются одними из наиболее распространенных загрязняющих веществ (ЗВ) поверхностных вод России. В бассейне Нижнекамского водохранилища (НКВ) ежегодно отмечается несколько десятков случаев высокого и экстремально высокого загрязнения водных объектов тяжелыми металлами (ТМ), в том числе марганцем [2]. Средние многолетние концентрации марганца в различных створах гидрохимического мониторинга Росгидромета варьируют в диапазоне 5-19 ПДК для рыбохозяйственных водных объектов [3].

Бассейн НКВ характеризуется множеством мелких месторождений марганцевых руд, часть из которых интенсивно эксплуатировалась в 1930-1940 гг. [7]. В поверхностные воды марганец поступает в виде подвижных ионных форм и коллоидов выщелачивания из марганецсодержащих минералов, почв и иловых отложений, а также продуктов разложения водных животных и растительных организмов, особенно сине-зеленых и диатомовых водорослей.

К дополнительному поступлению металла в водный объект приводят многочисленные объекты хозяйственной деятельности, расположенные на водосборе. На качество воды в НКВ влияют сточные воды предприятий химической, нефтехимической, топливной, электроэнергетической, металлургической, машиностроительной, металлообрабатывающей, деревообрабатывающей отраслей экономики и жилищно-коммунального сектора, неконтролируемые поверхностные смывы с сельскохозяйственных объектов и нефтегазодобычи [2]. Источники постоянного проникновения ТМ в зону аэрации, грунтовые и подземные воды – предприятия горнорудной промышленности, районы разработки нефтяных месторождений, накопители жидких и твердых отходов предприятий различных отраслей промышленности, места складирования ТКО.

Для планирования хозяйственной деятельности и водоохраных мероприятий необходимы: исследование закономерностей содержания ТМ в водных объектах, количественная оценка антропогенного вклада, корректировка нормативов качества воды с учетом региональной специфики условий и факторов его формирования. Перспективы таких исследований связаны с построением пространственно-распределенных физико-математических моделей, описывающих эти закономерности для всего речного бассейна, в том числе для не охваченных наблюдениями районов [10]. Из отечественных моделей такого типа наиболее известная модель – ЕСОМАГ-НМ.

*Модель ECOMAG-НМ.* Полураспределенная физически обоснованная модель ECOMAG-НМ разработана для описания круговорота ТМ в речном бассейне (на его поверхности, в почве, грунтовых и речных водах). Модель состоит из двух блоков: гидрологической подмодели формирования речного стока и гидрохимической подмодели миграции и трансформации ЗВ на водосборе. Гидрологический блок модели многократно проверен на многих крупных речных бассейнах России и используется в практике гидрологических расчетов, прогнозов и управления водными ресурсами [5]. Гидрохимический блок модели верифицирован по данным загрязнения водотоков тяжелыми металлами на северо-западе Кольского п-ова [4] и крупного водосбора в бассейне Волги [6, 8, 9].

*Объект исследования.* Частный водосбор НКВ располагается на р. Каме между Нижнекамским и Воткинским гидроузлами и имеет площадь 186 000 км<sup>2</sup>. Около 2/3 площади территории в западной и центральной частях – равнинные территории, восточная часть – Уральская горная область (рисунок 1а). Питание рек, главным образом, снеговое. За период весеннего половодья проходит свыше 60 % объема годового стока. Среднегодовой боковой приток воды в НКВ составляет 36,5 км<sup>3</sup>, из которых 26,1 км<sup>3</sup> дает сток р. Белой.

*Информационное обеспечение модели.* Модельная схематизация водосборной площади НКВ и речной сети выполнена с использованием специализированного ГИС-комплекса *Ecomag Extension* на основе цифровых тематических карт региона: рельефа, гидрографической сети, почв и ландшафтов. В результате в бассейне НКВ выделено 503 расчетных элементарных водосборов (рисунок 1в), их средняя площадь составляет около 400 км<sup>2</sup>. Модельная речная сеть кроме основной реки включает 50 притоков 1-го порядка, 131 приток 2-го порядка, 63 – 3-го порядка и 8 – 4-го порядка.

Граничные условия для гидрологической подмодели - ежедневные поля метеорологических характеристик (температуры и влажности воздуха, осадков) в бассейне НКВ, измеренных на 56 метеостанциях. Данные о ежедневных расходах воды на 5-ти гидропостах (рисунок 1а) использованы для калибровки параметров (2001-2007 гг.) и валидации (2008-2013 гг.) гидрологической подмодели.

Начальные условия в гидрохимической подмодели по концентрации марганца в почвах водосбора НКВ задавались на основе приведенных в Атласе [1] карт содержания микроэлементов в пахотном слое почв на территории РБ с привлечением аналогичных данных на сопредельных административных единицах. Содержание металла в атмосферных осадках (верхние граничные условия) и в напорных грунтовых водах, осуществляющих подпитку верховодки в зоне аэрации почвогрунтов, задавалось постоянной величиной на основе региональных справочников.

Данные форм статистической отчетности 2ТП (водхоз) за период 2002-2007 гг. о сбросах марганца со сточными водами в 12-ти населенных пунктах в бассейне р. Белой (рисунок 1б) использованы в качестве информации о точечных источниках загрязнения. Данные о динамике содержания марганца в речных водах на 26-ти постах на р. Белой и ее притоках, полученные службами

Росгидромета за период 2002-2007 гг. [3], использованы для калибровки параметров и проверки гидрохимической модели.

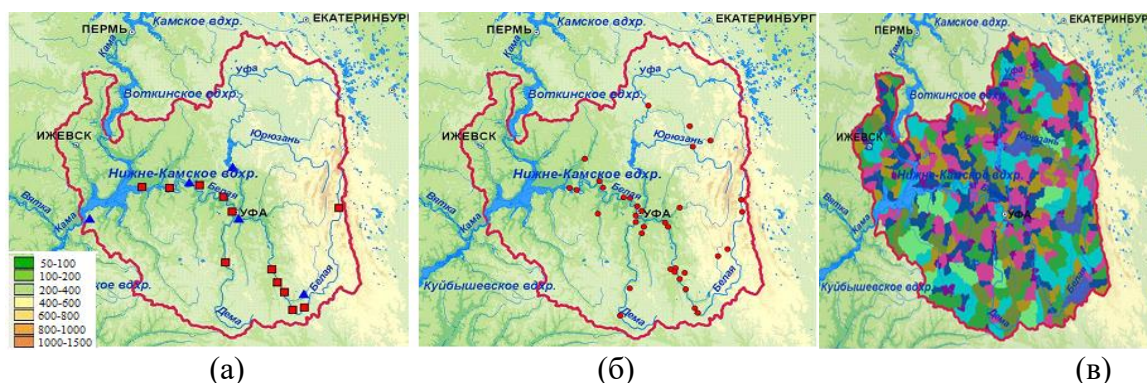


Рисунок 1 – Расположение пунктов мониторинга в бассейне НКВ и его модельная схематизация: а – пункты наблюдения за стоком (треугольники) и сбросами сточных вод (квадраты); б – посты гидрохимического мониторинга Росгидромета; в – модельная схематизация

В результате расчетов по модели выполнено сопоставление рассчитанных и измеренных концентраций марганца в различных точках речной сети в бассейне НКВ (рисунок 2) с различным временным осреднением: суточным, поквартальным и среднемноголетним, осредненным за шесть лет. Анализ результатов показал, что в большинстве случаев величина расхождения между рассчитанными и измеренными значениями концентраций сопоставима с величиной погрешности их определения. Коэффициенты корреляции между осредненными по кварталам рассчитанными и измеренными концентрациями марганца на всех 26 створах варьируют в диапазоне 0,68 (IV кв-л) – 0,85 (I кв-л). Коэффициент корреляции между рассчитанными и измеренными среднемноголетними значениями концентрации марганца на 26 створах составляет 0,80. Результаты расчетов свидетельствуют об удовлетворительном воспроизведении моделью основных пространственных и временных закономерностей содержания металла в речной сети.

По результатам расчетов построена карта среднемноголетних концентраций марганца в модельной речной сети, в том числе на участках, не охваченных гидрохимическими наблюдениями. Сопоставление карт пространственного распределения содержания марганца в речной сети и его содержания в почвах указывает на их тесную связь.

На основе модельных балансовых расчетов выполнена оценка вклада различных генетических составляющих в формирование суммарного стока марганца с водосбора в НКВ, а также влияния сбросов сточных вод промышленных предприятий на загрязнение речных вод (таблица). Фактический ежегодный сток марганца в НКВ (последняя графа таблицы) оценивался путем умножения наблюдаемого среднегодового расхода притока воды в водохранилище на измеренную среднегодовую концентрацию металла в последнем створе гидрохимического мониторинга на р. Белая перед ее впадением в НКВ (створ г. Дюртюли).



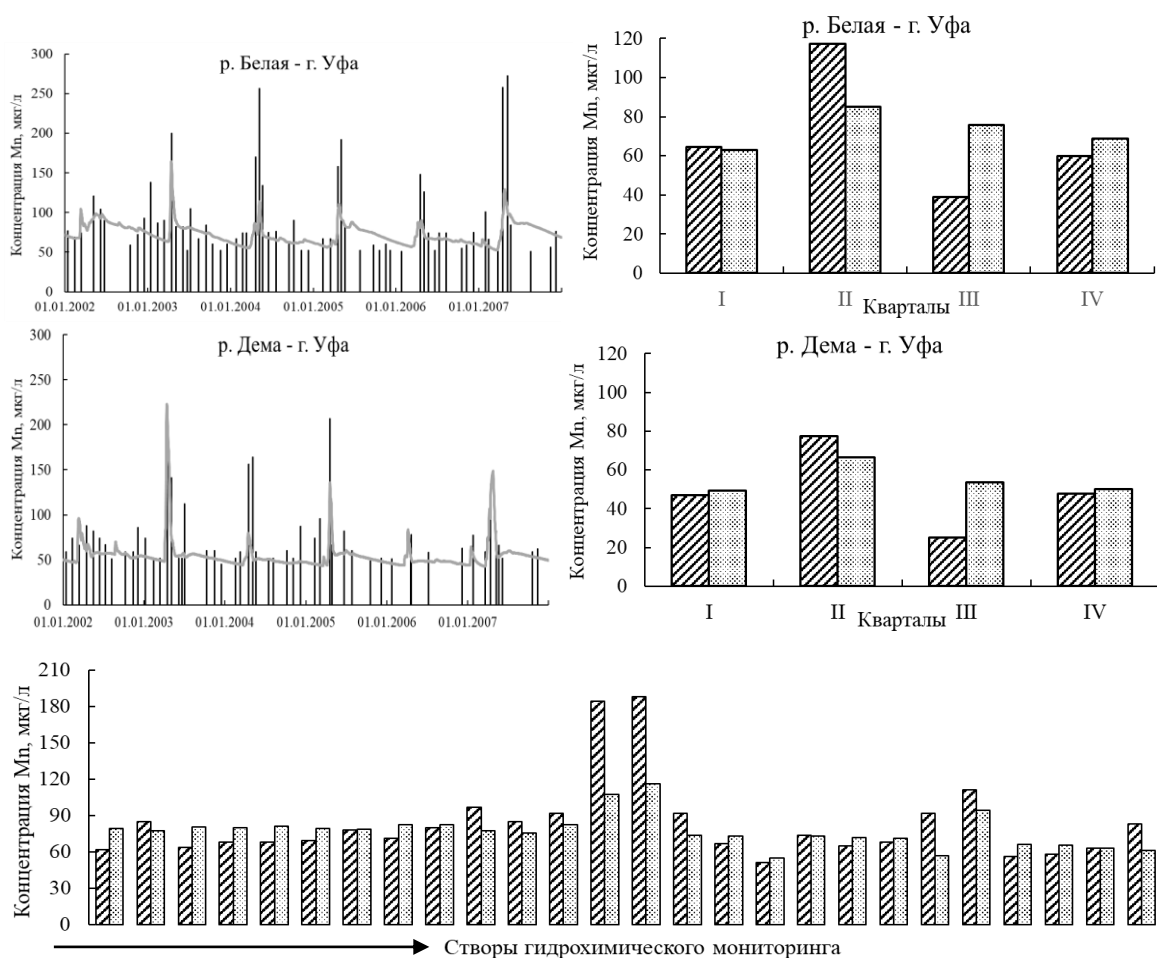


Рисунок 2 – Измеренные (диагонально заштрихованные и темные столбики) и рассчитанные (светлая штриховка и светлая линия) концентрации марганца в речной воде в створах гидрохимического мониторинга р. Белой: слева – динамика концентраций с суточным разрешением; справа – среднемноголетнее внутригодовое распределение концентраций по кварталам за 2002-2007 гг.; снизу – среднемноголетние концентрации в створах гидрохимического мониторинга; стрелкой указано направление течения р. Белой

Таблица – Рассчитанные значения различных генетических составляющих стока марганца и его фактические значения с водосбора НКВ, т/год

Год	Сток с водосбора		Сброс со сточными водами	Оседание на речное дно	Сток металлов в НКВ	
	поверхностный сток	почвенно-грунтовый сток			расчетный	фактический
2002	532	4129	4.8	1405	3257	4448
2003	716	2838	2.8	1109	2474	2892
2004	440	2290	2.3	910	1811	2282
2005	910	3057	2.5	1139	2845	1662
2006	285	2149	3.2	842	1583	1870
2007	1228	4095	3.4	1397	3936	2749
Среднее	<b>685</b>	<b>3093</b>	<b>3.2</b>	<b>1134</b>	<b>2651</b>	<b>2651</b>

Модельные балансовые расчеты показывают, что суммарный сток марганца в НКВ примерно на 82 % формируется за счет его вымывания из почвенно-грунтовой толщи. За счет поверхностного смыва формируется ~18 % стока марганца. Доля марганца, поступающего в речную сеть со сбросами

сточных вод, невелика и составляет ~0,1 % суммарного стока металла. Около 30 % марганца, вымываемого с водосбора, аккумулируется с наносами в донных отложениях.

*Выводы.* Установлены пространственно-временные закономерности содержания марганца в речной сети на водосборе НКВ с использованием программного комплекса ECOMAG-НМ. Выполнена оценка вклада различных природных и антропогенных составляющих в формирование гидрохимического стока марганца. Малый вклад антропогенных точечных источников в загрязнение речных вод и региональная специфика его формирования позволяют рекомендовать в качестве фоновых значений концентрации марганца в бассейне НКВ ее среднемноголетнее значение в речной сети. Использование модельного комплекса в качестве инструмента экологического прогноза или экспертной системы в рамках сценарного моделирования природно-антропогенных процессов – наиболее перспективный путь решения задач управления качеством воды в речном бассейне.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 17-7730006) и в рамках Государственного задания ИВП РАН (тема № 0147-2019-0001, № государственной регистрации АААА-А18-118022090056-0)*

#### Список литературы

1. Атлас Республики Башкортостан / Под ред. И.М. Япарова. Уфа: Китап, 2005. 419 с.
2. Государственные доклады о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан за 2005-2016 гг.
3. Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши на территории Республики Башкортостан за 2002-2007 гг.
4. Мотовилов Ю.Г. Оценки антропогенных загрязнений речных бассейнов тяжелыми металлами на основе модели ECOMAG // Научное обеспечение реализации “Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 г.”. 2015. Т. 1. С. 335–343.
5. Мотовилов Ю.Г., Гельфан А.Н. Модели формирования стока в задачах гидрологии речных бассейнов. М.: Изд. РАН, 2018. 300 с.
6. Мотовилов Ю.Г., Фащевская Т.Б. Пространственно распределенная модель формирования стока тяжелых металлов в речном бассейне // Вода: химия и экология. 2018. № 1-3. С. 18-31.
7. Салихов Д.Н., Ковалев С.Г., Брусницын А.И. и др. Полезные ископаемые Республики Башкортостан (марганцевые руды). Уфа, 2002. 242 с.
8. Fashchevskaya T.B., Motovilov Yu.G. Modeling water pollution under different scenarios of zinc load on the Nizhnekamskoe Reservoir watershed // Water Resources, 2019. Vol. 46, Suppl. 2. P. S69-S80.
9. Motovilov Yu.G., Fashchevskaya T.B. Simulation of spatially-distributed copper pollution in a large river basin using the ECOMAG-НМ model // Hydrol. Sci. J. 2019. Vol. 64. Is. 6. P. 739-756.
10. Vink R., Peters S. Modelling point and diffuse heavy metal emissions and loads in the Elbe basin // Hydrol. processes. 2003. Vol. 17. P. 1307-1328.

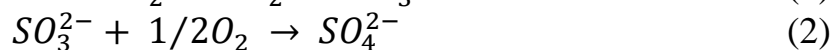
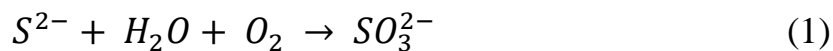
# О МЕХАНИЗМЕ ФОРМИРОВАНИЯ $\delta^{34}\text{S}$ И $\delta^{18}\text{O}$ СУЛЬФАТНЫХ ИОНОВ ПОДЗЕМНЫХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ДО И ПОСЛЕ САНАЦИИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Ю.А. Федоров

*Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, fed29@mail.ru*

Формирование кислых растворов в угольных шахтах обусловлено бактериальным и химическим окислением дисульфида железа [1,2,5,6,8,12]. Химический состав этих вод представлен преобладающими ионами  $\text{H}^+$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  (т. е. серной кислотой) и железа. В соответствии с адаптированными Е.В. Посоховым классификациями М.Г. Валяшко и О.А. Алекина и добавлениями А. М. Никанорова и др. [4] автором настоящего сообщения предложена форма изображения класса, типа и группы кислых растворов ( $\text{S}^{\text{Fe}}_{\text{IV}}$ ), что трактуется как сульфатный класс, четвертый тип, группы железа. При окислении пирита углей и вмещающих пород образуются сульфаты с близким изотопным составом серы к исходному сульфиду [1,2,6,8]. Однако, как впервые показали [1,2], в результате их смешения с сульфатами «фоновых» пластовых и поровых вод и образуются сульфаты шахтных вод с оригинальными значениями  $\delta^{34}\text{S}$ . Их химический состав, а также изотопный состав серы и кислорода сульфатов при прохождении через вспомогательные горные выработки и, после водоотлива, через пруды-отстойники и аэраторы, станции биологической очистки, реки, претерпевает существенные изменения.

Редукция сульфатных ионов шахтных, как и природных вод до сероводорода, сопровождается кинетическим изотопным эффектом, который приводит к возрастанию содержания  $^{34}\text{S}$  и  $^{18}\text{O}$  в остаточных сульфатах [8-11]. До работ M.R Lloyd [9,10] не было известно, как формируется  $\delta^{18}\text{O}$  сульфатных ионов океанических вод и в каких соотношениях входят в него молекулярный кислород и кислород воды. Используя раствор  $\text{Na}_2\text{S}$ , через который продувался кислород, он предположил, что неорганическое окисление сульфида проходило по реакциям (1,2):



M.R Lloyd считал, что 2/3 кислорода извлекается из воды и 1/3 – из молекулярного кислорода. Для реакции (2) он рассчитал кинетический изотопный эффект, вызывающий облегчение  $\delta^{18}\text{O}$  сульфата по отношению к инкорпорированному кислороду на 8,7%. Последующие расчеты по формуле, предложенной M.R Lloyd, был определен  $\delta^{18}\text{O}$  потока окисленных соединений серы в океане, который оказался равным около +5,0%. При этом в формулу были подставлены значения кислорода океанической воды (относительно SMOW) и  $\delta^{18}\text{O}$  молекулярного кислорода, который изменялся по сведениям P. Kroopnick., H.Craig от +23,0 до + 23,79‰ (в среднем +23,5 ‰) [7].

Приняв значение  $\delta^{18}\text{O}$  атмосферных осадков для г. Ростова-на-Дону  $-9,9\text{‰}$  [5], а молекулярного кислорода  $+23,5\text{‰}$  и подставив их в формулу M.R Lloyd было определено значение теоретического изотопного состава кислорода сульфатов «чистого генетического типа» (по терминологии [3]), которые предположительно должны были образовываться в угольных лавах при участии кислорода воздуха и воды. Оно составило  $-1,84\text{‰}$ . Эта величина близка к нижнему пределу  $\delta^{18}\text{O}$  сульфатов шахтных вод, которые видимо, не прошли биологическую очистку, фильтрацию и оказавшихся в отстойниках или прудах. В то же время по сведениям [5] значение  $\delta^{18}\text{O}$  сульфатов таких вод, образующихся в насыщенной кислородом зоне добычных выработок, составляет  $+0,3\text{‰}$ . Шахтные воды (без прудов-аэраторов и отстойников) содержали сульфаты с изотопным составом кислорода от  $-2,4$  до  $+4,7\text{‰}$  (в среднем  $+2,1\text{‰}$ ). Как и в случае с изотопным составом серы, наблюдается возрастание содержания тяжелого изотопа кислорода на пути от места формирования кислых сульфатных вод до места их выхода на поверхность земли. Сульфаты фоновых пластовых вод и поровых растворов характеризуются  $\delta^{18}\text{O}$  соответственно  $0,0$  и  $+7,7\text{‰}$  [6]. Изотопный состав кислорода сульфатов в водах прудов-накопителей возрастает там, где воды прошли предварительную биологическую очистку. В случае, когда шахтные воды поступают непосредственно в водоемы без биологической очистки, изотопный состав кислорода, как и серы сульфатов, остается близким к исходному или снижается. Реки в верхнем течении в среднем имеют изотопный состав кислорода сульфатов  $+4,4\text{‰}$ . После сброса в них шахтных вод и переработки речных вод на станциях биологической очистки, изотопный состав кислорода сульфатов вниз по течению существенно утяжеляется.

Поскольку поведение изотопного состава серы и кислорода сульфатов в природных водах данного района характеризуется большим сходством, было решено совместить на одном графике блок-диаграммы зависимости  $\text{ЭSO}_4^{2-}/\text{ЭM} - \delta^{34}\text{S}$ ,  $\text{ЭSO}_4^{2-}/\text{ЭM} - \delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^{18}\text{O} - \delta^{34}\text{S}$ . Эта модель получила наименование блок-диаграммы [6]. Оказалось, что имеются серьезные различия в положении ряда точек на треугольных диаграммах. Так, вне контура совмещенных треугольников в системе координат  $\text{ЭSO}_4^{2-}/\text{ЭM} - \delta^{34}\text{S}$  находилась только одна точка, в то время как в системе координат  $\text{ЭSO}_4^{2-}/\text{ЭM} - \delta^{18}\text{O}$  их стало уже пять. Ряд точек на графике  $\text{ЭSO}_4^{2-}/\text{ЭM} - \delta^{18}\text{O}$  переместился из треугольника ACD в треугольник ABC, что должно свидетельствовать, казалось бы, об отсутствии влияния процессов биогенной редукции на сульфаты описываемых проб. Разобраться в этом вопросе удалось с помощью блока, демонстрирующего зависимость между  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^{34}\text{S}$  (рисунок 1). Здесь, как и на двух других диаграммах, обнаружены точки изотопного состава проб, располагающиеся в области (заштрихована), несколько отстоящей от места локализации основной массы точек. Для этих проб характерны отрицательные значения  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ . По всей видимости, образование таких сульфатов связано исключительно с окислением восстановленных форм серы (возможно, сульфида железа и сероводорода). В треугольнике ABC (блок  $\delta^{18}\text{O}-\delta^{34}\text{S}$ ) находятся точки изотопного состава проб, сульфаты которых сформировались в результате

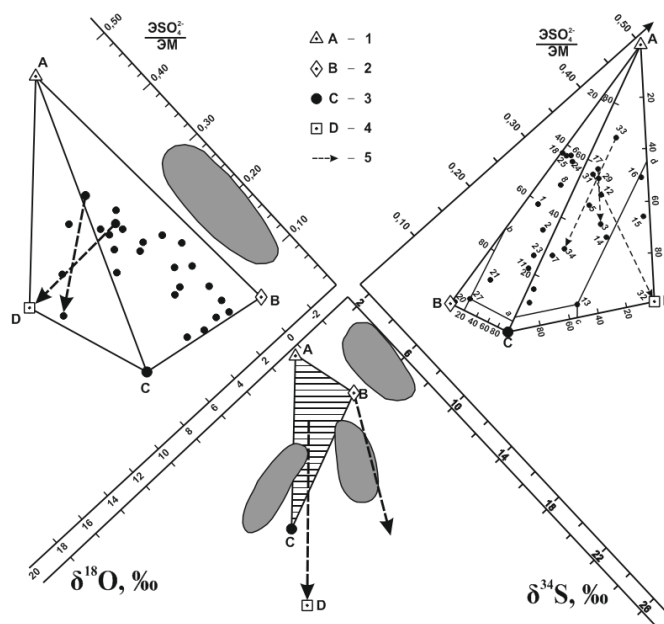
смешения фоновых пластовых вод, поровых растворов и шахтных вод «чистого» генетического типа. В областях, выделенных крапом, располагаются точки изотопного состава проб, сульфаты, которых подверглись биогенной редукции. Расчеты, основанные на экспериментальных данных, свидетельствуют о том, что наклон линий сульфатной редукции в блоке  $\delta^{18}\text{O} - \delta^{34}\text{S}$  изменяется для конкретных условий от 0,5 до 2,4. Это не противоречит разработкам R. Krouse [8], который, в сравнении с Y. Mizutani, T.A. Rafter [11], приводит доказательства существования в природе более широких вариаций  $\delta^{18}\text{O}$ . Пробы воды, сульфаты которых подверглись биогенной редукции, расположились слева и справа от треугольника ABC. Нахождение точек на блок-диаграмме строго фиксировано, что позволяет обнаружить нюансы в образовании сульфатов в зависимости от механизма их образования. Благодаря проведенным исследованиям однозначно установлено, что шахтные воды практически полностью формируют сток сульфатов малых рек Шахтинско-Несветаевского района.

Для расчета доли инкорпорируемого в сульфатные ионы молекулярного кислорода или кислорода воды была привлечена модифицированная R. Krouse [8] модель Teylor et al. [12]. Эти исследователи полагали, что в анаэробной насыщенной водной среде (затопленные выработки) окисление идет преимущественно химическим путем, при этом 100 % кислорода сульфата извлекается из воды. Развитие данной реакции ограничивается наличием иона  $\text{Fe}^{3+}$ . В хорошо дренируемой ненасыщенной водой зоне окисление с участием молекулярного кислорода и кислорода воды протекает преимущественно микробиологическим путем. В этом случае 87,5 % кислорода сульфата происходит из молекулярного кислорода, а 12,5 % – из молекулы воды. Данная модель дает более корректные результаты как для шахтных вод, так и для сульфатов оз. Байкал [5] в сравнении с моделью M.R Lloyd [9,10].

Изотопный состав кислорода сульфатов шахтных вод может характеризоваться как относительно высокими значениями  $\delta^{18}\text{O}$ , так и низкими, или, в случае смешения, иметь какие-то промежуточные значения, что и было отражено на диаграмме, иллюстрирующей предполагаемую связь между  $\delta^{18}\text{O}$  вторичных сульфатов, продуцируемых при окислении пирита, и кислородом ассоциирующей воды. За изотопный состав кислорода воды, участвующей в окислении пирита, был принят ранее выше установленный нами изотопный состав кислорода атмосферных осадков. Оказалось, что все точки изотопного состава кислорода сульфатов шахтных вод лежат в поле прямоугольника на модели, предложенной R.Krouse [8]. Если признать деятельность этих процессов как наиболее вероятных, то можно рассчитать, что образование сульфатных ионов шло путем окисления пирита, в котором участвовало от 50 до 95 % кислорода воды. Другая часть точек, относящаяся к пробам речных вод, легла выше прямоугольника, что нельзя объяснить только процессами окисления сульфидов. Образование изотопного состава кислорода сульфатов исключительно таким механизмом хорошо согласуется с нашими данными по изотопному составу кислорода [6]. Существующие неувязки с другими физико-химическими показателями шахтных вод (pH, содержание сульфатных ионов),

говорят, как и в случае изотопного состава серы сульфидов, в пользу его трансформации в соответствии с предложенной моделью (рисунок 1).

На рисунке 2 были выделены отдельно результаты определения изотопного состава сульфатов проб, отобранных до и после начала санации угольных шахт Восточного Донбасса. Пробы изотопного состава сульфатов до санации описываются уравнением с большим углом наклона линии регрессии и коэффициентом корреляции, нежели пробы, взятые после закрытия угольных шахт. Добавим, что линия регрессии, описывающая расположение фигуративных точек проб до санации, находится на графике выше отвечающих значениям  $\delta^{34}\text{S}$  проб, отобранных после реструктуризации большинства угольных шахт.



1 – 100 % сульфатов образовались путем окисления пирита; 2 – 100 % сульфатов фоновых пластовых вод; 3 – 100 % сульфатов поровых растворов; 4 – предельно биогенно-редуцированные (условно на 100 %) остаточные сульфаты; 5 – направление сульфатной редукции.

Рисунок 1 – Блок-диаграмма связи между  $\Sigma\text{SO}_4^{2-}/\Sigma\text{M}$ ,  $\delta^{34}\text{S}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$  в природных водах Шахтинско-Несветаевского района (по [6]).

В заключение отметим, что разработанная блок-диаграмма позволяет не только использовать значения  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^{34}\text{S}$  в качестве изотопных меток источника происхождения сульфатных ионов, но и проследить особенности механизма их эволюции. Шахтные воды практически полностью формируют сток сульфатов малых рек Шахтинско-Несветаевского района. После санации большей части угольных шахт, фактически прекращения водоотлива и очистки шахтных вод в прудах отстойниках и аэраторах возросла доля сульфатов «фоновых» пластовых вод. Это свидетельствует о том, что в результате заполнения пластовыми водами горных выработок и отсутствия водоотлива создается анаэробная насыщенная водой среда. При этом окисление в условиях дефицита молекулярного  $\text{O}_2$  переключается с преимущественно микробиологического на химическое. Подавляющая часть инкорпорированного

в молекулу сульфата кислорода будет принадлежать кислороду воды. После истощения доступных лабильных органических веществ влияние процесса сульфатредукции в шахтных водах резко снизится, что также не будет способствовать накоплению тяжелых изотопов серы и кислорода в остаточных сульфатах. В то же время, в  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^{34}\text{S}$  молекул сульфатов поступивших на поверхность земли шахтных вод, сохранились прежние закономерности фракционирования. Такое непропорциональное накопление изотопов серы и кислорода в сульфатных ионах речных вод может указывать на более существенную роль участия здесь инкорпорируемого в них молекулярного кислорода.

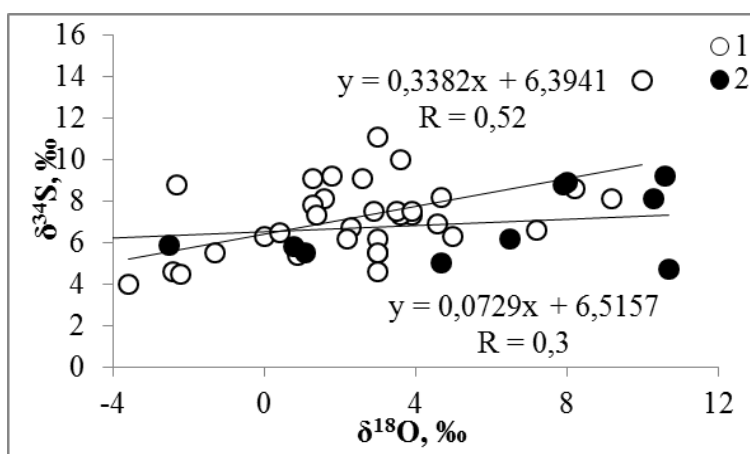


Рисунок 2 – Регрессионная модель зависимости изотопного состава серы от изотопного состава кислорода сульфатных ионов природных и шахтных вод Восточного Донбасса: 1 – до санации; 2 – после санации

Все значения  $\delta^{18}\text{O}$  выражены относительно стандарта SMOW, а  $\delta^{34}\text{S}$  – CD. Определения  $\delta^{34}\text{S}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  производились В.А. Гриненко, В.И. Устиновым (ГЕОХИ РАН) и Н.Р. Krouse (Университет Калгари, Канада), которым автор выражает глубокую благодарность. Статья подготовлена за счет гранта РФФИ № 19-05-00770.

#### Список литературы

1. Гриненко В.А., Федоров Ю.А. Исследования взаимосвязи изотопного состава серы сульфатов с химическим составом шахтных вод Восточного Донбасса // Водные ресурсы. 1990. № 6. С. 152-161.
2. Гриненко В.А., Никаноров А.М., Федоров Ю.А. Изотопно-химические показатели генезиса сульфатов природных вод угледобывающих районов (на примере Восточного Донбасса) // ДАН СССР. 1990. Т. 313, № 3. С. 693-696.
3. Дуров С.А. Синтез в геохимии. Ростов н/Д: Ростовское книж. изд-во, 1961. 246 с.
4. Справочник по гидрохимии. Под редакцией А.М. Никанорова. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 391с.

5. Федоров Ю.А. Стабильные изотопы и эволюция гидросферы. М.: Изд-во центра «Истина» МОРФ, 1999. 370. с.
6. Fedorov Yu.A., Grinenko V.A., Krouse H.R., Nikanorov A.M. Use of hydrochemical and isotopic criteria for evaluation of the influence of technogenic sulphur on surface waters//Proceedings of an international symposium on isotope techniques in water resources development, 1991//IAEA, Vienna, 1992. P.477-494.
7. Kroopnick P., Craig H. Atmospheric oxygen: isotopic composition and solubility fractionation // Science. 1972. V. 175. P. 54.
8. Krouse H.R. Environmental sulphur isotope studies in Alberta: All review //Acid Deposition Research Programm-B-03-87 / The University of Calgary, Alberta, Canada, 1987. 89 p.
9. Lloyd M.R. Oxygen-18 composition of oceanic sulfate // Science. 1967. V. 261. P. 284-288.
10. Lloyd M.R. Oxygen isotope behavior in the sulfate-water system // Geophys. Res. 1968. V. 1968. P. 6099.
11. Mizutani Y., Rafter T.A. Isotopic behavior of sulfate oxygen in the bacterial reduction of sulphate // Geochim.J. 1973. N 6. P. 183-191.
12. Taylor B.E., Wheeler M.S., Nordstrom D.K. Stable isotope geochemistry of acid mine drainage: Experimental oxidation of pyrite // Geochim et Cosmochim. Acta. 1984. V.48, N 12. P. 2669-2678.



## ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ МОСКОВСКОГО РЕГИОНА В XXI ВЕКЕ

Г.М. Черногаева<sup>1), 2)</sup>, Л.Р. Журавлева<sup>1)</sup>, Ю.А. Малеванов<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>ФГБУ *Институт глобального климата и экологии имени академика*

*Ю.А. Израэля, г. Москва, gmchernogaeva@gmail.com*

<sup>2)</sup>*Институт географии РАН, г. Москва*

Московский регион включает два субъекта: Московскую область и г. Москву (рисунок 1) и является наиболее урбанизированным регионом страны (74 города и 111 поселков городского типа). В регионе постоянно проживает 20,2 млн. чел. (г. Москва – 12 615 279 чел., Московская обл. – 7 599 647 чел.) [9, 12]. В регионе развита тяжелая, химическая, машиностроительная, металлургическая, атомная и другие отрасли промышленности. Сельское хозяйство носит пригородный характер: овощеводство, кормовые травы, животноводство, птицеводство.

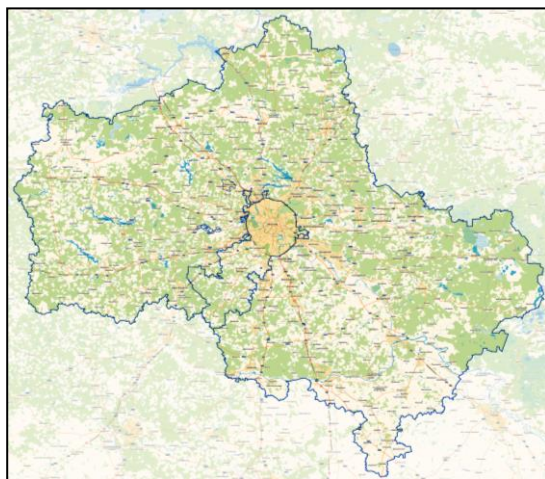


Рисунок 1 – Карта Московского региона

Распределение стока в течение года крайне неравномерное: в течение весеннего половодья на реках проходит от 60 до 90 % годового стока. Продолжительность половодья в среднем составляет 60-70 дней. Минимальный сток рек наблюдается в период зимней и летней межени [6].

Средняя многолетняя величина годового стока на территории области составляет 18 км<sup>3</sup>/год (14,2 % речного стока Центрального федерального округа (ЦФО), что в расчете в среднем на 1 чел. не превышает 1 тыс. м<sup>3</sup>/год. В целом по ЦФО – 8,4 тыс. м<sup>3</sup>/год на 1 чел., а в среднем по России – свыше 29 тыс. м<sup>3</sup>/год на 1 чел. [2, 5].

В средний по водности год на территорию области притекает 11,5 км<sup>3</sup> речной воды, в пределах области формируется 8,82 км<sup>3</sup> и выносится за ее пределы 20,32 км<sup>3</sup>. Суммарный ресурс речной воды составляет 20,32 км<sup>3</sup>, из которого на бассейн р. Клязьмы приходится 1,34 км<sup>3</sup> воды, р. Оки – 17,45 км<sup>3</sup>; р. Волги – 1,39 км<sup>3</sup> и на прочие реки – 0,14 км<sup>3</sup>.

Таким образом, Московская область входит в группу среднеобеспеченных поверхностными водными ресурсами регионов ЦФО, причем не только по ресурсам речного стока, но и по удельным значениям – в расчете на км<sup>2</sup>.

Реки области входят в бассейн р. Волга, которая заходит в пределы северной части области небольшим отрезком в 9 км. Не считая небольшого участка р. Волги, в регионе протекают такие реки как: Ока в среднем течении с притоками Протва, Нара, Лопасня, Цна, Осетр; Клязьма с притоками Угра, Воря, Шерна и Москва с притоками Руза, Истра, Яуза, Пахра. На севере области протекают рр. Лама, Яхрома, Дубна, Сестра, которые относятся к притокам р. Волги (таблица 1, рисунок 2).

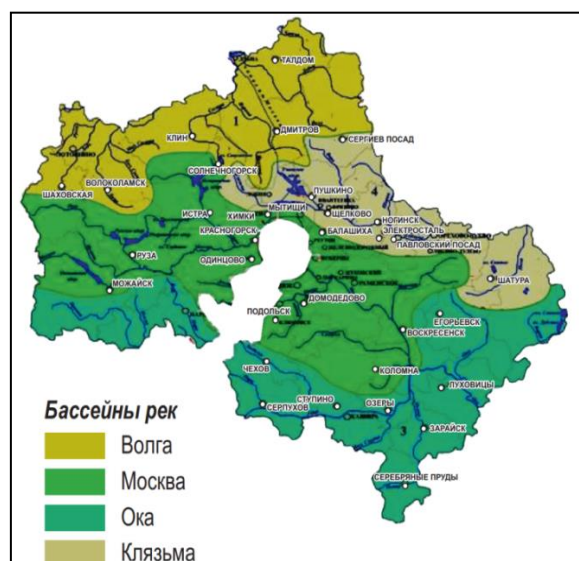


Рисунок 2 – Бассейны рек Московской обл.

Таблица 1 – Общая характеристика рек Московской области [6]

Река	Куда впадает	Длина реки в пределах области, км	Площадь бассейна в пределах области, тыс. км <sup>2</sup>	Среднегодовой расход воды, м <sup>3</sup> /с	Расход при 95 % обеспеченности, м <sup>3</sup> /с
Волга	Каспийское море	9	7,0*		
Дубна	Угличское вдхр.	137	5,1	10,2	
Сестра	Дубна	138	2,6		
Ока	Волга	206	38,5	1220,0	258,0
Протва	Ока	146	1,4	23,6	4,2
Клязьма	Ока	239	6,3	237,0	-
Нара	Ока	118	1,7	10,4	2,8
Осетр	Ока	149	1,6	16,2	6,8
Москва	Ока	473	17,5	105,0	14,2
Руза	Москва	145	2,0		
Истра	Москва	113	2,1		
Пахра	Москва	135	2,6		

Примечание: \* без бассейна Оки

Общая протяженность рек – около 10 тыс. км; на 1 км<sup>2</sup> площади региона приходится в среднем 0,2 км протяженности рек. Всего же по территории Московской области протекают более 4 тыс. рек. Из них 3,8 тыс. длиной менее 10 км, 348 – от 10 до 200 км, три средних – от 200 до 500 км. Длина всех водотоков области составляет 18 766 км. Речная сеть Подмосковья в разных природных районах развита неодинаково. На возвышенностях густота речной сети составляет 0,45-0,55 км/км<sup>2</sup>. На Верхне-Волжской низменности, в Мещерской низине 0,20-0,35 км/км<sup>2</sup>. Средняя густота речной сети по области 0,40 км/км<sup>2</sup>.

Наиболее яркий пример сложного комплекса водоснабжения - система источников водоснабжения г. Москвы. Для водообеспечения столицы создан крупнейший в стране комплекс, состоящий из 15 водохранилищ (с общей емкостью более 3 км<sup>3</sup> и полезным объемом 2,25 км<sup>3</sup>) и двух крупных каналов, соединяющих Волжский источник водоснабжения с площадью водосбора более 40 тыс. км<sup>2</sup> и Москворецкий с площадью водосбора 7,5 тыс. км<sup>2</sup>. Эта система водоснабжения более чем на 99 % базируется на использовании поверхностных вод. Столь значительная доля поверхностных вод во многом определена историческим развитием системы водоснабжения и в настоящее время обуславливает появление целого ряда рисков, связанных с количественным и качественным составом водных ресурсов, необходимых Москве и Московской области [4].



Рисунок 3 – Схема источников водоснабжения г. Москвы и Московской области [6]

Водопользование в Московском регионе производится за счет поступления воды из р. Волги по каналу им. Москвы, естественного стока рек Московского региона, а также из подземных источников (таблица 2).

Таблица 2 – Характеристики основных водохранилищ федерального значения в Московском регионе [2]

Наименование	Объем, млн. м <sup>3</sup>		Площадь зеркала при НПУ*, км <sup>3</sup>	Среднегого- летний сток (50 %), млн. м <sup>3</sup>	Объем полезной водоотдачи, млн м <sup>3</sup>	Вид регулиро- вания**
	полный	полезный				
Верхнерузское	22	21	9	...	...	М
Икшинское	15	8	5	1424	173	Сз
Истринское	183	172	34	189	...	М
Клязминское	87	27	16	697	110	Сз
Можайское	235	222	31	339	321	М
Озернинское	144	140	23	167	...	...
Пестовское	54	20	12	1281	365	Сз
Пяловское	18	9	6	922	911	Сз
Химкинское	29	6	4	509	477	Сз
Иваньковское***	1120	916	327	9230	7260	Сз

\*Нормальный подпорный уровень; \*\*М – многолетнее регулирование; Сз – сезонное регулирование. \*\*\*Основная часть водохранилища находится за пределами Московского региона.

Наполняемость Москворецких водохранилищ на протяжении нескольких лет в среднем составляет 50 %: Можайское – 45 %, Рузское – 32 %, Озернинское – 53 %, Истринское – 51 %, Иваньковское – 67 %.

Канал им. Москвы построен в 1937 г. в целях водоснабжения г. Москвы и смежных областей, санитарного обводнения рек и воднотранспортного соединения столицы с р. Волгой и пятью морями Европейской территории страны. Канал, общей протяженностью 128 км, представляет комплекс водохранилищ (Икшинское, Пестовское, Пяловское, Учинское, Акуловское, Клязьминское и Химкинское), обеспечивает поднятие и переброску волжской воды в водораздельный бьеф канала им. Москвы в объеме 1-1,2 млн. м<sup>3</sup>. Четыре агрегата обеспечивают максимальную подачу воды по каналу в объеме 100-120 м<sup>3</sup>/с. За счет подачи Волжской воды из Иваньковского водохранилища по Каналу им. Москвы обеспечивается около 70 % современной потребности в воде Москвы и Подмосковья.

Водообеспечение Подмосковья производится также на основе Восточной системы водоснабжения, использующей артезианские источники на границе с Владимирской областью (гг. Лосино-Петровский, Электросталь, Балашиха, Павловский Посад и др.).

Значительная часть воды, забираемая из водных объектов области, на территории региона не потребляется, а поступает в г. Москва. Также имеют место небольшие встречные поставки воды из города областным водопользователям, в частности, в гг. Долгопрудный, Красногорск, Реутов и др. (рисунок 4).

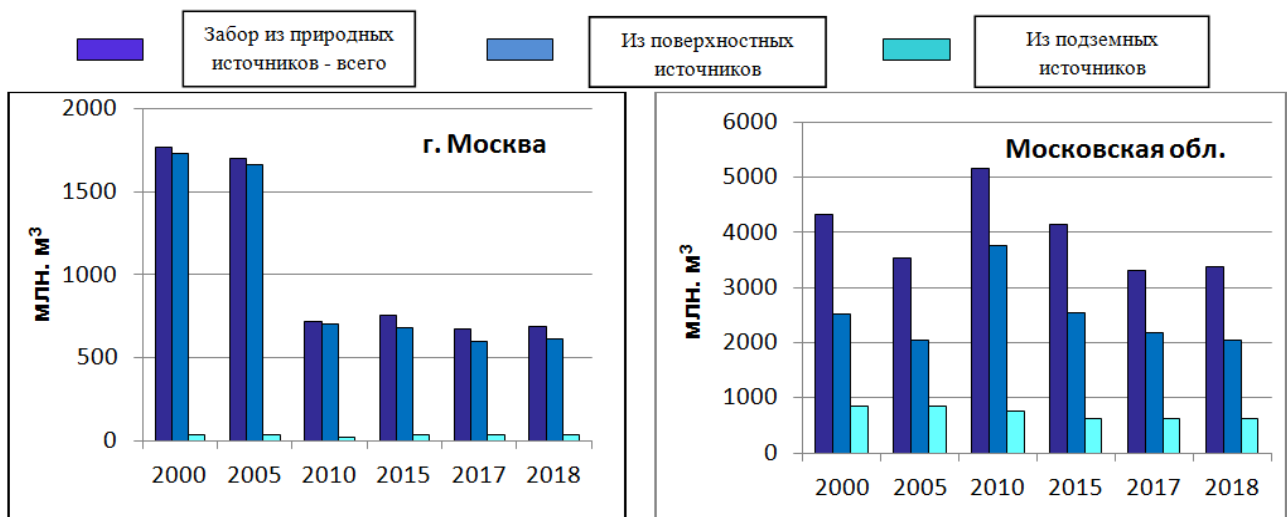


Рисунок 4 – Динамика забора воды в Московском регионе [2, 3]

За период 2000-2018 гг. наблюдается тенденция к заметному снижению объема забора воды из всех источников (по г. Москва на 62 %, по Московской области на 22 %).

На рисунке 5 представлены данные, отражающие водопотребление в Московском регионе.

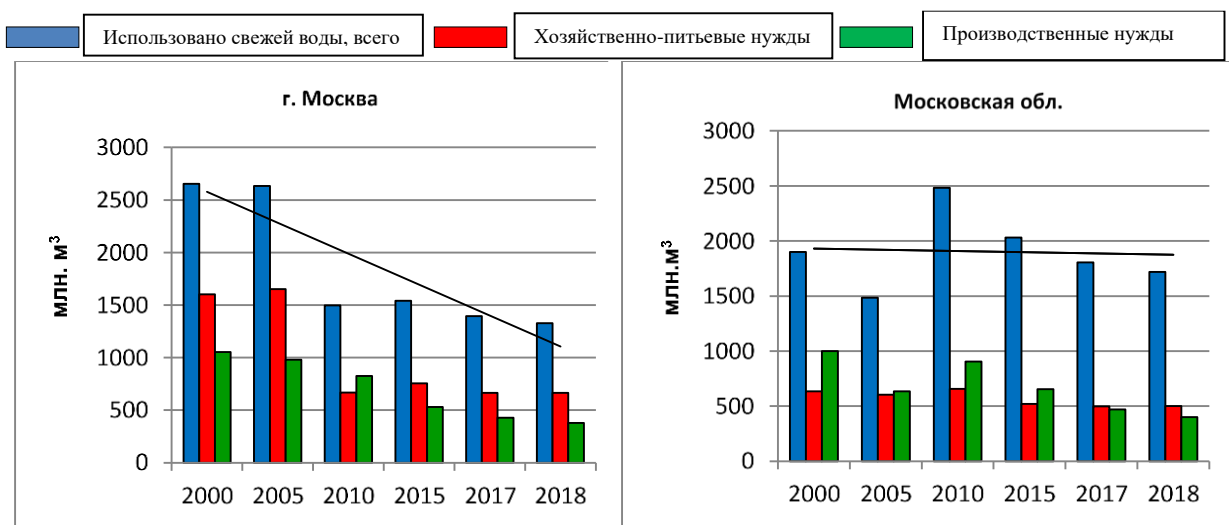


Рисунок 5 – Динамика использования свежей воды в Московском регионе [2, 3]

За период 2000-2018 гг. в г. Москва наблюдается существенное сокращение использования свежей воды за счет снижения водопотребления на производственные цели – на 64 % и на хозяйственно-питьевые нужды – на 59 %. В области наблюдается снижение производственного водопотребления – на 60 % и хозяйственно-питьевого использования - на 21 %.

Сброс всех видов загрязненных сточных вод в Москве за рассматриваемый период существенно уменьшился – на 60 %, а в области, наоборот, увеличился на 33 % (рисунок 6). Сброс неочищенных сточных вод увеличился как по г. Москва, так и по Московской области на 30 и 35 % соответственно.

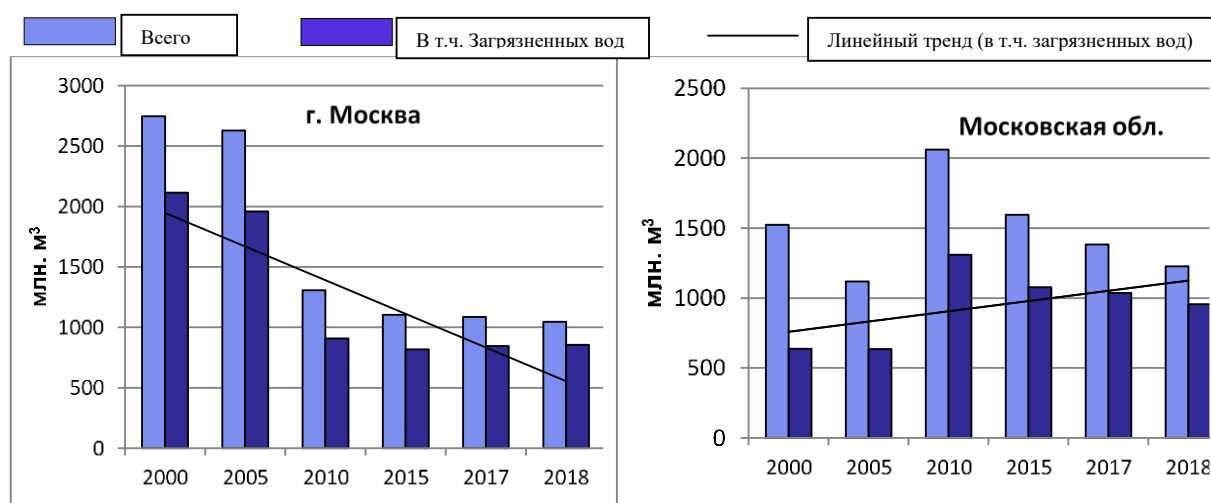


Рисунок 6 – Водоотведение в поверхностные водные объекты в Московском регионе [2, 3]

Основными источниками загрязнения крупных водотоков региона остаются недостаточно очищенные хозяйственно-бытовые и промышленные сточные воды городов: Одинцово, Клина, Серпухова, Каширы, Коломны, Москвы, Воскресенска, Подольска, Наро-Фоминска, Щелково, Ногинска, Орехово-Зуево и др.; а также сельскохозяйственные стоки, поступающие непосредственно в реки или их притоки.

В 2019 г. на водных объектах Московского региона количество случаев высокого загрязнения (ВЗ – уровень загрязнения, превышающий ПДК в 3-5 раз для веществ 1 и 2 классов опасности, в 10-50 раз для веществ 3 и 4 классов, в 30-50 раз для нефтепродуктов, фенолов, ионов марганца, меди и железа) почти в 6 раз превысило аналогичный показатель 2000 г. (рисунок 7).

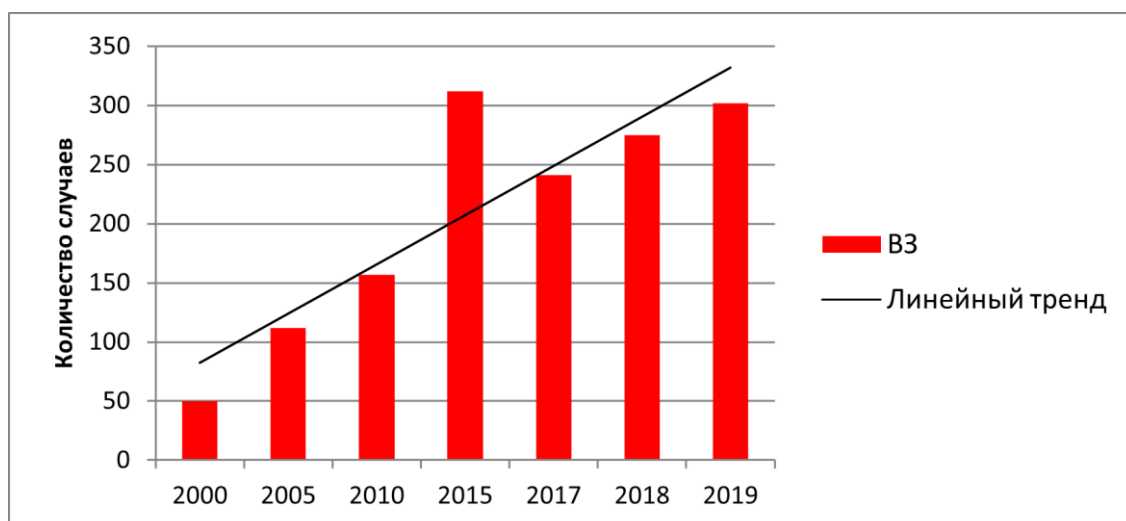


Рисунок 7 – Изменение количества случаев ВЗ поверхностных вод Московского региона [1, 7]

На рисунке 8 представлена диаграмма распределения количества случаев высокого загрязнения по рекам Московского региона. За период 2000-2019 гг.

максимальное количество случаев было зафиксировано на реках: Москва, Пахра, Клязьма, Закса и Рожая.

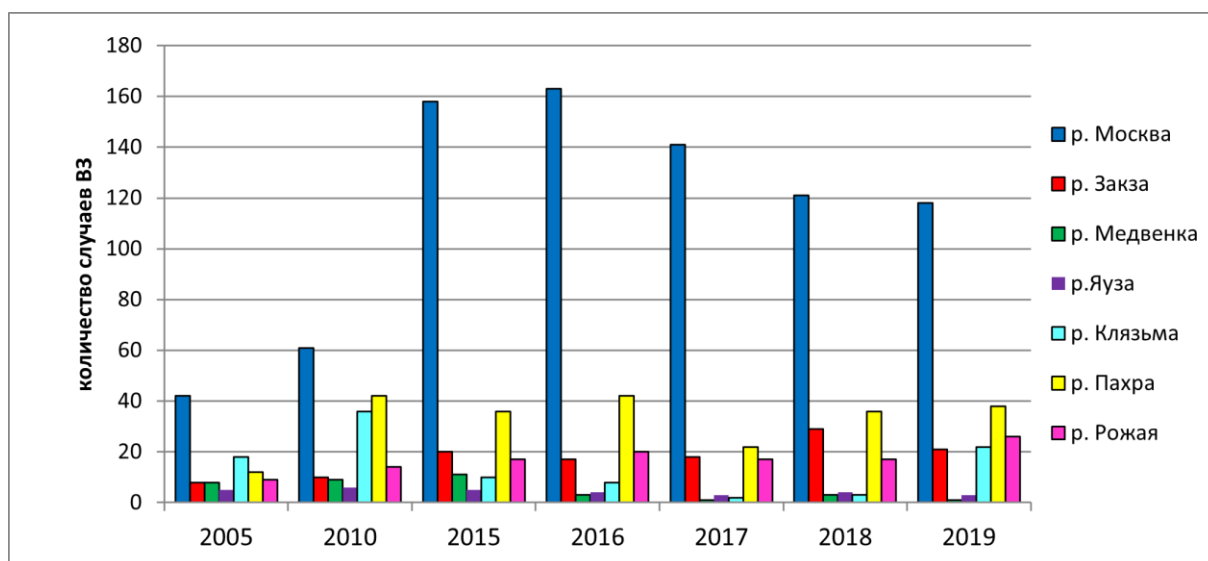


Рисунок 8 – Распределение случаев высокого загрязнения по рекам Московского региона [1, 7]

Характерными загрязняющими веществами являются соединения азота и фосфора, взвешенные и органические вещества, нефтепродукты, фенолы, АПАВ, тяжелые металлы. Следует отметить, что за период 2005-2019 гг. в Московском регионе концентрации соединений азота сохраняются примерно на одном уровне (рисунки 9, 10), в отличие от фосфатов, концентрации которых увеличились в два раза (2005 г. – 0,22 мг/л, а в 2019 г. – 0,44 мг/л).

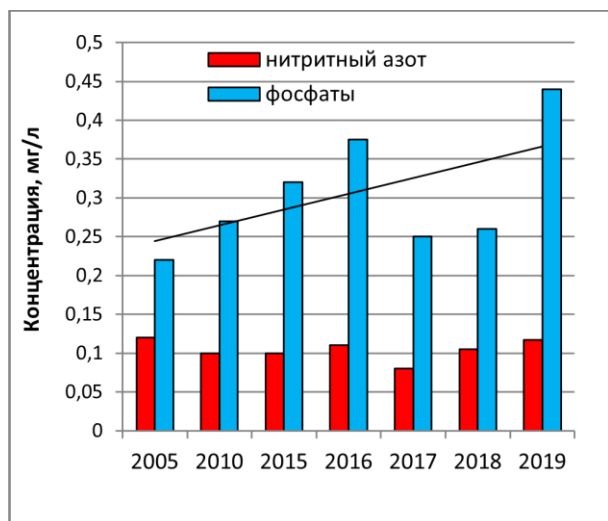


Рисунок 9 – Изменение среднегодовых концентраций нитритного азота и фосфатов в целом по водным объектам Московского региона [6]

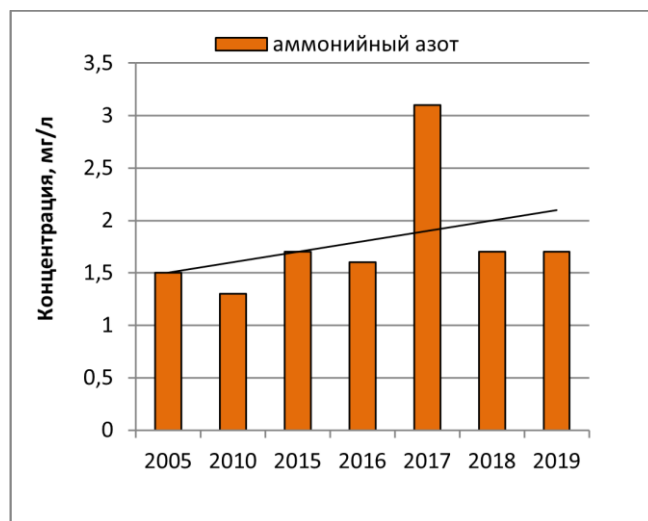


Рисунок 10 – Изменение среднегодовых концентраций аммонийного азота в целом по водным объектам Московского региона [6]

Оценка качества поверхностных вод в целом для всех водных объектов Московского региона за 2000-2019 гг. по удельному комбинаторному индексу

загрязненности воды (УКИЗВ) показала, что качественный состав поверхностных вод находится в интервале от «слабо загрязненных» до «грязных». Как «экстремально грязные» в последние годы характеризовались воды рр. Воймега и Рожая. На водных объектах Московского региона (в т. ч. р. Москва ниже г. Москва до устья) за рассматриваемый период, несмотря на снижение объемов сброса загрязненных сточных вод, существенного улучшения в качестве воды не произошло. Эта ситуация связана прежде всего с изношенностью основных фондов, в том числе, очистных сооружений, а также с ослаблением контроля за работой промышленных предприятий и ЖКХ.

Московский регион (г. Москва и Московская обл.) является примером негативного влияния урбанизации на качество окружающей среды, включая здоровье населения и жизнедеятельности наземных и водных экосистем. Снижение площади зеленых насаждений, застройка земель сельскохозяйственного назначения, увеличение плотности дорожно-транспортной системы, увеличение автопарка, а также застройка вдоль автотрасс, подходящая практически вплотную к автомагистралям, приводят к тому что, несмотря на тенденцию закрытия ряда старых предприятий или перевода их в пригородную зону, качество поверхностных вод сохраняется на низком уровне [10].

В Московском регионе за период 2000-2019 гг. наблюдается четко выраженная тенденция снижения объема воды, подаваемой в коммунальную водопроводную сеть для нужд различных водопользователей. Если в г. Москва забираемая вода полностью проходит через сооружения водоподготовки (причем в отдельных случаях эта водоподготовка осуществляется более одного раза), то в области порядка 70 % поданной в сеть воды, рассматриваемую предочистку не проходит.

Из 130 имевшихся к началу 2019 г. в целом по России снегоплавильных пунктов – 94 объекта расположены в Москве. Их функционирование приводит к усилению негативного воздействия на качество водных экосистем. В Подмосковье такие объекты отсутствуют. На очистных сооружениях Москвы требуется осуществление мероприятий по охране водных объектов, принимающих соответствующие стоки [8].

Актуальными проблемами для Московского региона являются отсутствие актуализированных данных о водном и водохозяйственном балансах Московского региона, нормирование и учет загрязнения водных объектов от «транспортного» источника. При составлении дальнейших планов развития Московского региона необходимо обеспечение баланса: урбанизированных территорий, лесонасаждений и сельскохозяйственных земель, а также проведение стационарных мониторинговых наблюдений на территории «Новой Москвы» [11].



## Список литературы

1. Бюллетень загрязнения окружающей среды Московского региона за 2018 г. ФГБУ «Центральное УГМС». Ежегодный сборник информационно-справочных материалов, 2019. 44 с.
2. Водные ресурсы и водное хозяйство России: Статистический сборник / Под ред. Н.Г. Рыбальского и А.Д. Думнова. М.: НИА-Природа, 2001-2019.
3. Водный кадастр РФ. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество. Справочное издание. Ежегодное издание. 2009-2017. Санкт-Петербург, 154 с.
4. Даценко Ю.С. Формирование и трансформация качества воды в системах источников водоснабжения города Москвы. Автореф. диссертации на соискание ученой степени доктора геогр. наук. МГУ, 2015. 50 с.
5. Доклад «О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2018 году». Под ред. А.О. Кульбачевского. М.: ДПиООС; НИиПИ ИГСП: ООО «Студио Арроу», 2019. 247 с.
6. Доклад «О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Московской области в 2018 году». Информационный выпуск. Министерство экологии и природопользования Московской области, 2019. 180 с.
7. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации. Ежегодное издание. Отв. ред. Г.М. Черногаева. М.: Росгидромет, 2009-2018, 240 с.
8. О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2014 году. Доклад / Н.Г. Рыбальский, А.Д. Думнов, Е.В. Муравьева и др. М.: НИА-Природа, 2015. 384 с.
9. Регионы России. Социально экономические показатели России. [Электронный ресурс]: на 1 января 2019 года // Росстат, 2019. URL:[http://www.gks.ru/storage/mediabank/soc-pok19\(1\).rar](http://www.gks.ru/storage/mediabank/soc-pok19(1).rar).
10. Черногаева Г.М., Жадановская Е.А., Журавлева Л.Р., Малеванов Ю.А. Загрязнение окружающей среды в регионах России в начале XXI века. - Коллективная монография. Отв. ред. А.А. Тишков. М.: ООО "ПОЛИГРАФ-ПЛЮС", 2019. 232 с.
11. Черногаева Г.М., Зеленов А.С. Комплексная оценка состояния окружающей среды Московского региона и его природных объектов. - Геологические проблемы Новой Москвы. Отв. ред. А.В. Кошкарев, Э.Л. Лихачева, А.А. Тишков. М.: Медиа-пресс, 2013. С. 33-38.
12. Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям. [Электронный ресурс]: на 1 января 2019 года // Росстат, 2019. URL: [http://www.gks.ru/storage/mediabank/mun\\_obr2019.rar](http://www.gks.ru/storage/mediabank/mun_obr2019.rar).

## ОСОБЕННОСТИ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ИРИКЛИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА (НА Р. УРАЛ) В РАЗЛИЧНЫЕ ПО ВОДНОСТИ ГОДЫ

Е.А. Шашуловская, С.А. Мосияш, И. Г. Филимонова, Л.В. Гришина  
*Саратовский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Саратов, Россия,  
shash.elena2010@yandex.ru*

Особенностью рек степных регионов Европейской части России, к которым принадлежит значительная территория бассейна р. Урал, помимо ограниченной водообеспеченности в условиях аридного климата, является крайняя неравномерность распределения внутригодового и межгодового стока [3]. Проблема приобретает особую актуальность в условиях зарегулирования.

Ириклинское водохранилище, протяженностью 73 км, создано в бывшем Ириклинском ущелье Уральского горного сооружения и является самым крупным искусственным водоемом на р. Урал, оказывая существенное воздействие на его самоочищающую способность [4]. Водоохранилище имеет сложную конфигурацию, представляя собой цепь озеровидных расширений (плесов) в средней и нижней части. Объем водоема – 3,26 км<sup>3</sup>, средняя глубина – 12,5 м, максимальная – 36 м.

Главной приходной компонентой водного баланса Ириклинского водохранилища является поверхностный приток, который отражает совокупное воздействие климата и интенсивной хозяйственной деятельности на водосборе. В условиях низкого водообмена водохранилища (один раз в два года) величина водности и внутригодовое распределение притока является основой формирования гидрохимического режима водоема как среды обитания водных биологических ресурсов, в связи с чем имеет важное значение.

Для исследования выбраны многоводные 2013 и 2014 гг., различающиеся внутригодовым распределением притока, и 2019 г., характеризующийся минимальным объемом годового притока за последнее десятилетие. Гидрохимические пробы отбирали по [1] в мае, июле и октябре по продольной оси водоема: в Чапаевском, Софинском, Таналык-Суундукском и Приплотинном плесах на русловых и прибрежных участках. Исследовали показатели кислородного режима, реакции среды рН, солевого состава и органического вещества, а также биогенные элементы (минеральные формы азота и фосфора, кремний и общее железо) по общепринятым методикам [2].

Годовые объемы притока воды в водохранилище в 2013 и в 2014 гг. были близки и составили 2,93 и 2,45 км<sup>3</sup>/год соответственно. В 2014 г. внутригодовое распределение притока было обычным: максимальная величина отмечена в апреле (рисунок). В 2013 г. наблюдали два паводка: первый, как обычно, весенний, второй – в августе-сентябре в связи с обильными осадками, причем последний достигал в 2 раза более высоких величин. Годовая приточность в 2019 г. была в 4 раза ниже, чем в 2013-2014 гг. и незначительно колебалась в течение года; небольшое увеличение притока также зарегистрировано в апреле

в паводок, но его объем был в 3-9 раз меньше, чем в 2013 и 2014 годах соответственно (см. рисунок).

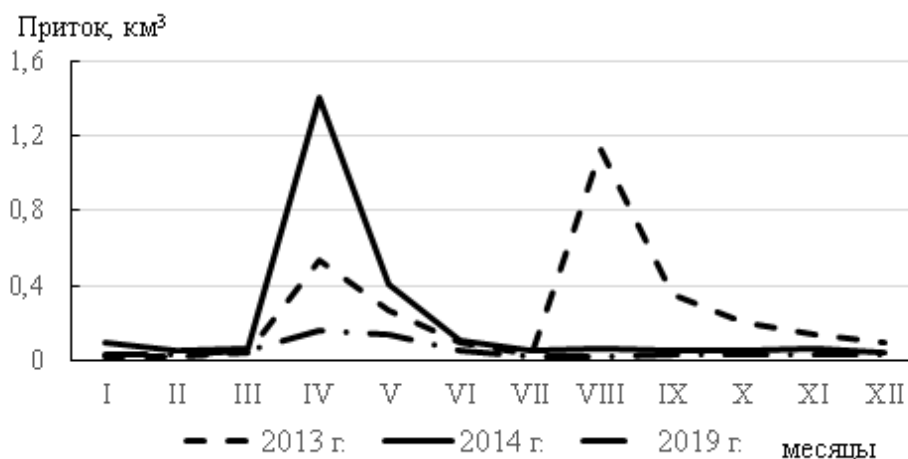


Рисунок – Внутригодовое распределение притока воды в Ириклинское водохранилище в 2013, 2014, 2019 гг.

В исследуемые годы температура воды в водохранилище колебалась от 6,6°C в октябре до 23,6°C в июле. Весной наиболее прогретым оказывался верхний Чапаевский плес, а летом температурный режим водохранилища был в основном равномерный. В октябре глубоководный Приплотинный плес остывал медленнее, и температура воды на его акватории была в среднем на 2,8-6,1°C выше, чем в верховье водоема. Наиболее холодным было лето в 2014 г.: средняя температура воды составила 18,5°C по сравнению с 22,0-22,3°C в 2013 и 2019 гг.

Прозрачность в водохранилище невысокая в интервале от 0,6 до 2,2 м по стандартному белому диску Секки. Реакция среды изменялась от нейтральной до слабощелочной.

Зарегистрированное содержание растворенного в воде кислорода ( $O_2$ ) колебалось от 4,7 до 14,6 мг/дм<sup>3</sup>. В период летней межени наблюдалась стратификация по этому показателю. В 2014 г. концентрация  $O_2$  была существенно ниже, чем в другие исследуемые годы.

Весной минерализация и, соответственно, содержание главных ионов минимальное за счет наполнения водохранилища паводковыми водами: в 2013-2014 гг. величина показателя изменялась в интервале 373-423 мг/дм<sup>3</sup>, в 2019 г. увеличилась до 484-529 мг/дм<sup>3</sup>. К осени минерализация возрастала. В макрокомпонентном химическом составе вод преобладающими анионами являлись гидрокарбонаты, доля которых составила 21-28 %-экв. Наиболее изменчиво содержание катионов, особенно кальция и магния. Весной 2013 и 2014 гг. доминировали соответственно магний или кальций, а в паводковый период маловодного 2019 г. наиболее высоким было содержание магния и натрия при почти равном их соотношении.

Величина цветности в 2013 г. колебалась от 10,4 до 41,9 градусов. Максимальные значения отмечены в осенний период, весной и летом средние концентрации по водохранилищу были близки. Во все сезоны по значениям

показателя водохранилище условно можно разделить на два участка: Чапаевский-Софинский плесы, где величины цветности почти в 2 раза были выше, и остальную акваторию. В 2014 г. пределы колебания цветности были меньше: от 18,3 до 32,3 градусов. Максимальные значения регистрировали весной в Чапаевском и Софинском плесах, далее по продольной оси водохранилища цветность воды плавно снижалась. В маловодном 2019 г. среднее значение цветности было ниже, чем в 2013-2014 гг. в 1,6 раз. Весенний и летний периоды практически не отличались по этому показателю. Осенью отмечены минимальные значения окраски воды. Наиболее высокие величины показателя во все сезоны отмечены только в Чапаевском плесе.

В 2013 г. колебания перманганатной окисляемости (ПО) изменялись в интервале 3,6-7,1 мг О/дм<sup>3</sup>, средние значения были выше в осенний период. По продольной оси водоема по величинам показателя также можно было выделить два участка: Чапаевский и Софинский плесы и остальную часть акватории. Показатель ПО также в основном характеризует содержание окрашенных органических веществ (ОВ). Поэтому распределение его величин по акватории было таким же, как и цветности. Весной и осенью достоверная корреляционная связь между этими показателями была высокой ( $r=0,83-0,89$  при  $p<0,05$ ). Летом корреляция между цветностью и перманганатной окисляемостью снижалась, видимо, за счет новообразованных органических веществ. В 2014 г. значения показателя колебались в пределах 5,0-6,9 мг О/дм<sup>3</sup>, а средние значения окисляемости были несколько выше, чем в 2013 г. По сравнению с 2013 г. разброс значений ПО вдоль продольной оси водохранилища был незначителен, а достоверная корреляционная связь окисляемости и цветности была установлена только в весенний паводковый период. Величина ПО в 2019 г. колебалась в интервале 3,4-6,6 мг О/дм<sup>3</sup>. По продольной оси водохранилища колебания показателя происходили на одном уровне. Среднесезонная концентрация ПО в 2019 г. была самая низкая за исследуемый период.

Содержание общего ОВ, характеризуемого бихроматной окисляемостью (ХПК), в рассматриваемые годы колебалось практически в одном интервале 18-34 мгО/дм<sup>3</sup>. В 2013 г. весной и летом величина ХПК не зависела от распределения по водохранилищу окрашенных ОВ, в то же время осенью коэффициент корреляции между цветностью и ХПК составил 0,81, а с ПО – 0,85 при  $p<0,05$ . Видимо, в результате дождевых паводков существенную долю в общем ОВ осенью составили окрашенные гуминовые соединения. Вследствие неравномерного прогрева воды на разных участках водохранилища в осенний период динамика содержания общего ОВ была связана с температурой ( $r = -0,64$ ,  $p<0,05$ ), при более низких значениях которой замедляется скорость минерализации органических веществ и увеличивается ХПК.

В маловодном 2019 г. сезонная динамика показателя общего ОВ слабо выражена. Можно отметить некоторое снижение в летний период в связи с интенсификацией минерализации при повышении температуры воды, и накопление органических веществ в осенний. Осенью, как и в 2013 году, наблюдалась отрицательная корреляционная связь общего ОВ ( $r = -0,58$ ,  $p<0,05$ ) с температурой воды.

Аммонийный азот может поступать в водоем с поверхностным стоком или образовываться внутри при минерализации ОВ. В летний и осенний периоды 2013 г. отмечена сильная достоверная корреляционная связь ( $r=0,81-0,85$  при  $p<0,05$ ) между содержанием аммония и показателем цветности. Вероятно, сильные дождевые паводки способствовали привносу этого соединения с водосбора. В 2014 и 2019 гг. значимую достоверную связь между этими показателями наблюдали только весной, а в летне-осеннюю межень аммоний имел преимущественно внутриводоемное происхождение. Среднесезонная концентрация N-NH<sub>4</sub> в 2019 г. (0,08 мг/дм<sup>3</sup>) была в 1,8 раз ниже, чем в 2013-2014 гг.

Количество нитратов в исследуемые годы в основном колебалось в диапазоне 0,02-0,40 мг N/дм<sup>3</sup>. В 2014 г. наибольшие концентрации N-NO<sub>3</sub> зарегистрированы в период весеннего паводка, в 2013 г. – в октябре. По продольной оси водохранилища содержание нитратного азота существенно варьировало. Нередко отмечалось его снижение до аналитического нуля (<0,02 мг N/дм<sup>3</sup>). Сравнивая уровень минерального азота в различные сезоны исследуемого периода можно отметить более высокое его содержание осенью 2013 г., обусловленное обильными дождевыми паводками. В 2019 маловодном году количество минерального азота было в 2 раза ниже, чем в 2013-2014 гг., что указывает на существенную роль поверхностного стока в балансе этого элемента в водохранилище.

Пределы колебания концентрации минерального фосфора и его среднесезонное содержание в рассматриваемые годы были близки. По продольной оси водохранилища, как правило, происходит снижение количества фосфатов от верховьев (плесы Чапаевский и Софинский) к приплотинному участку. Исключение составила весна 2014 г., когда распределение этого соединения по водохранилищу было в основном равномерным, что, возможно, было связано с большим объемом весеннего паводка в этот период.

Распределение Si и Fe<sub>общ</sub> по акватории водохранилища было сходным с фосфатами. В весенний период колебания концентраций элементов были незначительными, летом и осенью их количество на участке Чапаевский-Софинский плесы было существенно выше, чем на остальной акватории. Сезонные изменения выражались в снижении содержания элементов летом в период максимальных биопродукционных процессов.

В осенний период отмечена достоверная корреляционная связь между цветностью воды, фосфатами, кремнием и железом, возможно вследствие образования кремнийорганических комплексов с сорбированными на них фосфатами и железом.

Таким образом, существенные различия в гидрологии Ириклинского водохранилища в рассмотренный период позволили выявить связанные с ними особенности гидрохимического режима водоема. Содержание основных ионов в маловодный год возрастает в связи с повышением доли грунтовых вод в водном балансе. Увеличение поверхностного стока в результате весеннего или летнего дождевого паводка способствует поступлению в водохранилище окрашенных органических веществ и увеличению значений цветности и

перманганатной окисляемости. С аллохтонным ОВ связаны соединения минерального азота, в большей степени аммонийного. В то же время содержание общего ОВ и фосфатов в основном определяется внутриводоемными процессами и не зависит от величины притока. В некоторые периоды корреляционные отношения между цветностью воды, фосфатами, кремнием и железом могут свидетельствовать об образовании кремнийорганических комплексов с сорбированными на них фосфатами и железом.

По значениям гидрохимических компонентов водохранилище можно условно разделить на две части. На участке Чапаевский-Софинский плесы величина цветности, содержание биогенных элементов и органического вещества значительно выше, чем на участке Таналык-Суундукский – Приплотинный плесы. Высокая корреляционная связь многих показателей с цветностью на верхнем участке свидетельствует об их преимущественном поступлении с поверхностным притоком. На нижнем участке более значительную роль играют внутриводоемные процессы.

#### Список литературы

1. ГОСТ Р 31861-2012 Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Стандартинформ, 2013. 31 с.
2. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши/ Под ред. А.Д. Семенова. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 541с.
3. Сивохиц Ж.Т., Павлейчик В.М., Чибилев А.А., Падалко Ю.А. Современные изменения водного режима бассейна р. Урал // Вопросы географии. 2018. №145. С. 298-313.
4. Шашуловская Е.А., Мосияш С.А., Филимонова И.Г., Гришина Л.В., Кузина Е.Г. Формирование гидрохимического режима верхнего течения р. Урал в условиях техногенного регулирования стока // Поволжский экологический журнал. 2017. №4. С. 417-425.

## ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ АММОНИЙНОГО АЗОТА В ВОДЕ СРЕДНЕГО АМУРА В ЗИМНЮЮ МЕЖЕНЬ В 2015–2020 ГОДАХ

В.П. Шестеркин, Н.М. Шестеркина  
*ХФИЦ Институт водных и экологических проблем ДВО РАН,  
Хабаровск, iver@iver.as.khb.ru*

Аммонийный азот – одно из веществ, лимитирующих качество природных вод. Мониторинг за его содержанием в воде р. Амур у Хабаровска с 1975 г. ведет Росгидромет, с 1997 г. – ИВЭП ДВО РАН. Наблюдения в зимнюю межень 1975-2014 гг. позволили установить загрязнение вод аммонийным азотом (в 1977, 1984 и 1987 гг. концентрации превышали ПДК в 3 и более раз) [1, 2], изучить динамику его содержания и стока за период 1997-2014 гг. [3], выявить влияние вод р. Сунгари в загрязнении вод Амура. Большой объем информации был получен в период трансграничного загрязнения в конце 2005 г., мониторинг которого свидетельствовал о повышенном выносе аммонийного азота водами р. Сунгари в р. Амур [4]. Эти материалы, а также полученные в 2015-2020 гг. новые данные позволили рассмотреть пространственно-временную изменчивость содержания иона аммония в воде р. Амур в зимнюю межень за последние пять лет.

Гидрохимические исследования в основном осуществляли на р. Амур у г. Хабаровск ниже ж/д моста. Пробы воды отбирали с поверхности на 5-6 равномерно распределенных по ширине реки станциях в декабре-марте 1–2 раза в месяц. В марте 2017 г. пробы воды брали на р. Амур на 3-х станциях, у с. Амурзет и с. Нижнеленинское, расположенных между российским и китайским берегами выше и ниже впадения р. Сунгари. Образцы воды анализировали в Центре коллективного пользования при ИВЭП ДВО РАН фотометрическим методом в виде индофенолового синего.

Зимняя межень на р. Амур у Хабаровска в 2015-2020 гг. характеризуется широкой амплитудой колебаний водного стока из-за влияния зарегулированных прр. Зея и Бурей. Наименьшие уровни воды (от -110 до -144 см), обусловленные низкими расходами воды Зейской и Бурейской ГЭС (1271-1538 м<sup>3</sup>/с), отмечались в 2015, 2016, 2018 и 2019 гг. Максимальная водность Амура наблюдалась в 2017 и 2020 гг., когда уровни воды были выше -57 и -46 см соответственно.

Содержание аммонийного азота в амурской воде в период с 2015 по 2020 гг. отличается небольшим межгодовым варьированием значений, снижением средней многолетней концентрации (0,17 мг/л N) 2,1 раза по сравнению с периодом 2010-2014 гг. [3]. Незначительное загрязнение вод Амура отмечалось лишь на середине реки в феврале 2015 г. (1,1 ПДК), в 2020 г. максимальное значение достигало 0,36 ПДК. Наименьшая концентрация иона аммония наблюдалась в феврале 2017 г. (0,05 мг/л N), январе 2019 г. и марте 2020 г. (0,6 мг/л N) в левобережной части реки.

Определенная зависимость между содержанием аммонийного азота и водностью Амура зимой проявляется слабо. Наибольшие концентрации в

основном наблюдались в маловодные зимы 2014-2016 и 2017-2018 гг. (рисунок 1), наименьшие – в зимы с повышенной водностью (2016-2017, 2019-2020) и в средний по водному стоку год (2018-2019).

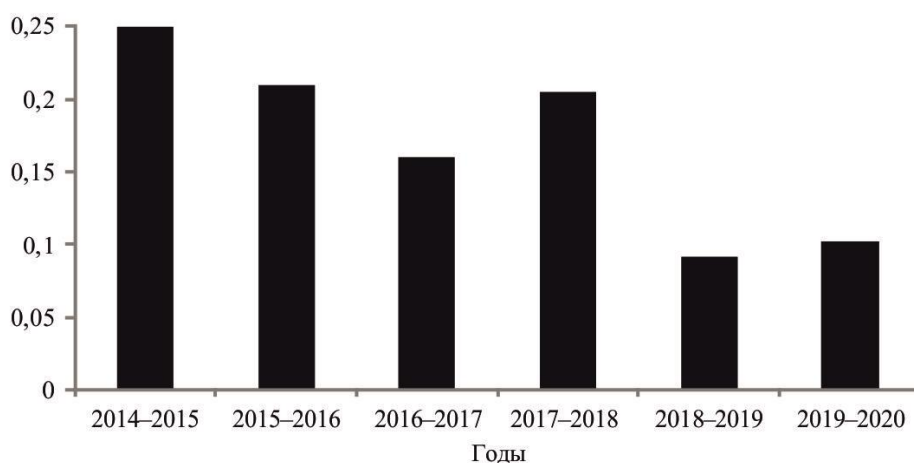


Рисунок 1 – Среднее за зимнюю межень содержание аммонийного азота в воде р. Амур у г. Хабаровск, мг/л\*N

Повышенный сток аммонийного азота в 2014-2016 и 2018 гг. свидетельствует об активизации хозяйственной деятельности в бассейне Амура, в основном в китайской его части. На это указывает характер распределения его концентраций по ширине Амура в районе впадения р. Сунгари. В марте 2017 г. содержание аммонийного азота выше устья этой реки распределялось по ширине Амура относительно равномерно и не превышало 0,03 мг/л N, а ниже устья в китайской части Амура составляло 0,31 мг/л N. Более высокая концентрация иона аммония отмечалась в этой части Амура в предыдущие годы. В 2008 г. она достигала 2,44 мг/л N, 2010 г. – 2,59 мг/л N, 2012 г. – 0,84 мг/л N [3].

Значительное снижение концентрации аммонийного азота в китайской части Амура могло быть связано с проведением природоохранных мероприятий в бассейне р. Сунгари после аварии на химическом комбинате г. Цзилинь в конце 2005 г., когда в речную сеть поступило около 100 тонн загрязняющих веществ. Были закрыты отдельные предприятия, построены новые и модернизированы изношенные очистные сооружения и др., что способствовало улучшению качества вод р. Сунгари. Однако воды этой реки, из-за деятельности в ее бассейне химических, нефтехимических и др. предприятий, а также высокой численности населения (около 65 млн. человек), до сих пор являются основным источником поступления аммонийного азота в р. Амур.

В районе г. Хабаровск большое влияние на содержание аммонийного азота в воде р. Амур, наряду с улучшением качества вод р. Сунгари, оказало зарегулирование р. Бурей. Зимние расходы воды этой реки в 2015-2020 гг. по сравнению с 2005-2010 гг. [5] в среднем возросли в 1,5 раза, причем в 2019-2020 гг. были максимальными за весь период наблюдений.



Наибольшие различия в содержании аммонийного азота по ширине Амура отмечались в зимнюю межень 2014-2015 гг. (0,40 мг/л N), наименьшие – в 2019-2020 гг. (0,10 мг/л N). В зимнюю межень 2015–2018 гг. значения варьировали от 0,31 до 0,37 мг/л N. Максимальные концентрации в основном наблюдались на середине реки, наименьшие – в левобережной части (рисунок 2). Такие отличия в концентрациях по поперечному профилю реки обусловлены неодинаковым содержанием ионов аммония в воде основных его притоков: в правобережной части Амура отчетливо проявляется влияние вод р. Уссури, на середине – вод р. Сунгари, в левобережной части – вод рр. Зeya и Бурea.

В течение ледостава содержание аммонийного азота в амурской воде в маловодные зимы (2014-2016, 2017-2019) возрастает вследствие усиления влияния р. Сунгари в условиях снижения расходов воды рр. Зeya и Бурea (рисунок 2). Обратная картина отмечалась в многоводные зимы (2016-2017, 2019-2020).

Таким образом, природоохранные мероприятия в бассейне р. Сунгари после аварии в г. Цилинь в 2005 г. и гидротехническое строительство в российской части бассейна Амура обусловили снижение концентрации аммонийного азота в воде среднего Амура в зимнюю межень. По сравнению с 2010–2014 гг. содержание этого вещества в 2015-2020 гг. в воде р. Амур у Хабаровска в среднем уменьшилась в 2,1 раза, крайне редким стало загрязнение его вод.

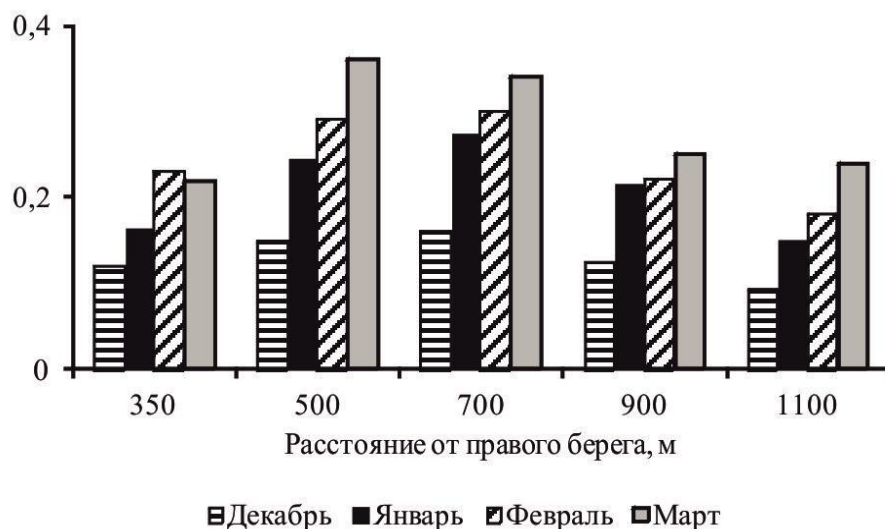


Рисунок 2 – Изменение содержания аммонийного азота (мг/л\*N) в воде р. Амур у г. Хабаровск по ширине в период ледостава 2015–2016 гг.

По ширине реки наибольшее содержание аммонийного азота отмечается на середине, наименьшее – в левобережной части. В течение ледостава в условиях низких расходов рр. Зeya и Бурea максимум содержания иона аммония наблюдается в конце зимы.

#### Список литературы

1. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Трансграничное загрязнение Амура биогенными веществами // География Азиатской России на рубеже веков:

материалы XI научного совещания географов Сибири и Дальнего Востока. Иркутск, 2001. С. 184.

2. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Содержание аммонийного азота в воде Среднего Амура в зимнюю межень // География и природные ресурсы. 2003. № 2. С. 93-97.

3. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Многолетняя динамика содержания и стока аммонийного азота в воде среднего Амура // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2015. № 2. С. 33-41.

4. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М., Фокина Ю.А., Ри Т.Д. Трансграничное загрязнение Амура в зимнюю межень 2005–2006 гг. // География и природные ресурсы. 2007. № 2. С. 40-44.

5. Шестеркин В.П., Сиротский С.Е., Шестеркина Н.М. Воздействие гидроэнергетического строительства на содержание и сток растворенных веществ в воде реки Буря // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2014. № 4. С. 72-83.

## ГИДРОХИМИЯ МАЛЫХ РЕК ГОРОДА ХАБАРОВСК В ПОЛОВОДЬЕ

В.П. Шестеркин, Н.М. Шестеркина  
*ХФИЦ Институт водных и экологических проблем ДВО РАН,  
Хабаровск, iver@iver.as.khb.ru*

Качество вод малых рек в крупных городах зависит от вида хозяйственной деятельности, интенсивности движения автотранспорта, численности населения и др. В Хабаровске данная проблема существует давно. В 1905 г. врач А.В. Чириков отмечал, что «для г. Хабаровска реки Плюснинка, Чердымовка и Лесопилка, впадающие в Амур, по-видимому, предназначены городской администрацией для роли естественной канализации» [4]. Далее он отмечал «...по ложу речки Плюснинки струится клоачная жидкость и несколько ниже казенного дебаркадера изливается в реку, к несчастью, именно в том месте, где берут воду, как водовозы, так и корейцы-водоносы...» [4].

Начиная с 1958 г. рр. Плюснинка, Чердымовка, Лесопилка были убраны в бетонные коллекторы, но наблюдения в 1999 г. свидетельствовали о загрязнении вод этих рек минеральными формами азота и фосфора [2, 5].

Рост территории города и появление коттеджей на его окраинах, увеличение автотранспорта не могли не повлиять на качество вод малых рек Хабаровска во время половодья, когда накопленные за зимний период загрязняющие вещества с тальми снеговыми водами поступают в малые реки.

Исследования проводили в марте-апреле 2018-2020 гг. на реках центральной (Плуснинка, Лесопилка) и северной (Осиповка, Полежаевка) частях г. Хабаровск. В воде определяли содержание главных ионов, минеральных форм азота и фосфора. Анализ проводили в Центре коллективного пользования при ИВЭП ДВО РАН по общепринятым в гидрохимии методам. При оценке загрязненности вод использовали величины ПДК вредных веществ в водных объектах рыбохозяйственного значения.

Химический состав вод малых рек Хабаровска формируется на холмистых увалах Среднеамурской равнины. Весной основным источником питания рек во время половодья являются как талые снеговые воды, так и воды изношенных систем водоснабжения и водоотведения.

Малые реки центральной части Хабаровска выделяются максимальной величиной минерализации (таблица 1), которая превышает зимние значения в среднем в 1,7 раза вследствие поступления основного количества растворенных веществ с первыми порциями талых снеговых вод [6]. В начале половодья в марте 2018 г. после многоснежной зимы (выпало 35,2 мм осадков) в воде р. Плюснинка, дренирующей территорию города с высотной застройкой, она достигала наибольших значений из-за использования противогололедных реагентов на дорогах [3]. В воде р. Лесопилка, на водосборе которой малоэтажные строения и интенсивность движения автотранспорта менее развиты, минерализация воды была ниже в 1,3 раза.

Таблица 1 – Химический состав вод малых рек центральной части г. Хабаровск в период половодья, мг/л

Показатель	Река, год, дата								
	Плюснинка					Лесопилка			
	2018			2019	2020	2018			2019
	22.III	27.III	5.IV	31.III	13.III	22.III	27.III	5.04	31.III
Na <sup>+</sup>	169,0	23,7	23,7	31,2	29,0	38,0	23,7	22,5	28,4
K <sup>+</sup>	10,0	10,5	6,5	7,7	6,4	10,0	14,0	6,5	10,0
Ca <sup>2+</sup>	55,3	32,2	64,0	31,0	51,0	44,6	33,0	42,0	22,3
Mg <sup>2+</sup>	14,5	5,5	14,2	14,0	12,8	7,5	6,5	9,1	9,0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	200	102	259	217	217	188	129	234	202
Cl <sup>-</sup>	366	64	63	49	45	140	54	39	34
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	18,8	11,9	15,6	25,0	30,0	17,8	26,0	9,0	16,8
NH <sub>4</sub> <sup>-</sup>	4,2	4,1	2,4	7,7	4,5	7,9	8,6	7,4	19,7
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,15	0,30	0,35	0,45	1,31	0,10	0,53	<0,03	0,10
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1,2	4,9	9,1	6,1	8,0	0,9	9,5	0,1	1,3
HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,08	1,00	0,10	0,04	0,14	0,25	1,92	0,08	1,72
Минерализация	839	260	458	389	405	455	307	370	345

Существенные различия отмечались и в солевом составе. В воде р. Плюснинка в начале снеготаяния относительное содержание Cl<sup>-</sup> достигало 74 % мг-экв, превышало значение ПДК в 1,2 раза, в то время как в воде р. Лесопилка эти значения были менее 52 % мг-экв и 0,13 ПДК. Среди катионов в воде р. Плюснинка доля Na<sup>+</sup> составляла 64 % мг-экв, доля Ca<sup>2+</sup> – (23 % мг-экв). Иным составом характеризуется р. Лесопилка, в воде которой содержание Ca<sup>2+</sup> достигало 47% мг-экв, а Na<sup>+</sup> – 35% мг-экв.

Более низкие концентрации основных ионов наблюдались в марте 2019–2020 гг. после малоснежных зим (выпало менее 13 мм осадков), что вызвало уменьшение использования антигололедных реагентов на городских дорогах.

Поэтому воды р. Плюснинка в начале половодья 2018 г. по классификации О.А. Алекина [1] относились к хлоридному классу, группе натрия, III типу, а р. Лесопилка – хлоридному классу, группе кальция-натрия, III типу. В последующие годы они имели гидрокарбонатно-кальциевый (р. Плюснинка) или гидрокарбонатный натриево-кальциевый (р. Лесопилка) состав.

Активное снеготаяние в конце марта 2018 г. привело к снижению минерализации и изменению химического состава вод (таблица 1). Более резкое падение концентрации Na<sup>+</sup>, по сравнению с остальными катионами, вызвало появление вод гидрокарбонатного класса, группы кальция, II типа. Наряду со снижением концентраций Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> и Mg<sup>2+</sup>, в воде в это время отмечался рост содержания K<sup>+</sup>, а в р. Лесопилка, также и SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>.

На спаде половодья, в первой декаде апреля, минерализация воды рек из-за увеличения влияния сточных вод возрастает, достигая наибольшего значения в р. Плюснинка (таблица 1). Основной вклад в повышении минерализации на фоне снижения концентраций Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, внесли HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> и Ca<sup>2+</sup>, относительное

содержание которых в воде р. Плюснинка достигало 67 и 57 % мг-экв соответственно, а в воде р. Лесопилка – 75 и 53 % мг-экв также соответственно.

Малые реки северной части города, по сравнению с центральной частью, содержат меньше солей, прежде всего  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$  (таблица 2). Наибольшая концентрация этих ионов наблюдается в воде р. Осиповка, водосбор которой в последние годы активно застраивается коттеджами. Влиянием садово-огородных участков, может быть вызвано и более высокое содержание  $\text{K}^+$ , чем  $\text{Na}^+$  в воде р. Полежаевка. Максимальные концентрации основных ионов после многоснежной зимы 2018 г. отмечались на пике половодья в конце марта.

Речные воды в основном характеризуются доминированием  $\text{Ca}^{2+}$  (42–53 % мг-экв) среди катионов и  $\text{HCO}_3^-$  (55–65 % мг-экв) среди анионов. Поэтому по классификации О.А. Алекина [1] в это время они относятся гидрокарбонатному классу, группе кальция, II типу. В воде р. Осиповка в марте 2020 г. отмечалось значительное преобладание  $\text{HCO}_3^-$  (71 % мг-экв) и смешанный катионный состав ( $\text{Ca}^{2+}$  до 29 % мг-экв,  $\text{Na}^+$  и  $\text{NH}_4^+$  – 25 % мг-экв).

Содержание биогенных веществ в воде малых рек Хабаровска во время половодья изменяется в более широких пределах, чем основных ионов (таблицы 1,2). Выше содержание этих веществ и по сравнению с зимней меженью [3] из-за поступления растворенных веществ из снежного покрова в начале его таяния.

Таблица 2 – Химический состав вод малых рек северной части Хабаровска в период половодья, мг/л

Показатель	Река, год, дата					
	Полежаевка			Осиповка		
	2018		2020	2018	2020	
	23.III	27.III	5.IV	11.III	5.IV	12.III
$\text{Na}^+$	10,1	10,1	9,0	15,0	13,5	30,0
$\text{K}^+$	3,0	16,0	6,5	3,3	3,5	10,3
$\text{Ca}^{2+}$	20,3	25,3	23,3	20,6	23,3	30,0
$\text{Mg}^{2+}$	10,4	6,5	5,6	5,9	6,6	9,2
$\text{HCO}_3^-$	92	81	76	84	78	240
$\text{Cl}^-$	20	26	17	17	23	44
$\text{SO}_4^{2-}$	12,0	27,0	22,2	19,2	17,6	19,4
$\text{NH}_4^+$	0,4	3,0	1,2	1,2	1,1	23,3
$\text{NO}_2^-$	0,07	0,26	0,09	0,09	0,09	0,10
$\text{NO}_3^-$	6,0	8,4	4,3	6,0	7,8	0,6
$\text{HPO}_4^{2-}$	2,04	1,00	0,19	0,17	0,22	4,77
Минерализация	206	260	166	172	175	412

Поэтому наибольшее содержание нитратного азота, загрязнение вод аммонийным и нитритным азотом в 2018 г. отмечалось на пике половодья. В 2020 г. максимальное загрязнение аммонийным азотом и фосфатами (до 47 и 8 ПДК соответственно) и минимальное содержание нитратного азота после

малоснежной зимы 2019-2020 гг. наблюдалось в воде р. Осиповка, вероятно, из-за сброса сточных вод с коттеджей.

Таким образом, малые реки центральной части г. Хабаровск в начале половодья характеризуются хлоридно-натриевым составом воды и максимальной минерализацией. Воды загрязнены аммонийным и нитритным азотом, фосфатами, т.е. за более чем столетний период их качество не изменилось. В период половодья отмечается постепенное снижение содержания основных ионов, за исключением иона калия, и увеличение концентраций минерального фосфора и окисных форм азота. В северной части города наибольшее загрязнение аммонийным и нитритным азотом, фосфатами отмечается в воде малых рек на пике половодья.

#### Список литературы

1. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 413 с.
2. Морина О.М., Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М., Иванова Е.Г. Проблемы качества малых рек г. Хабаровск и его окрестностей // Города Дальнего Востока: экология и жизнь человека: материалы конф. Владивосток-Хабаровск: ДВО РАН. 2003. С. 104-106.
3. Фишер Н.К., Гаретова Л.А., Имранова Е.Л., Кириенко О.А., Афанасьева М.И. Оценка экологического состояния малых рек центральной части Хабаровска в период снеготаяния // Региональные проблемы. 2018.Т. 21. № 3. С. 35-44.
4. Чириков А.В. Реки Амурского бассейна (Шилка, Амур и Сунгари) в санитарном отношении. СПб.: МПС. 1905. 133 с.
5. Шестеркин В. П., Шестеркина Н.М. Гидрохимия речных вод г. Хабаровска // Геохимические и биогеохимические процессы в экосистемах Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука. 1999. С. 112-119.
6. Шестеркин В.П., Афанасьева М.И., Шестеркина Н.М. Особенности качества воды малых рек Хабаровска в зимний период // Геоэкология, инженерная геология, геоэкология. 2019. № 3. С. 78-87.

## РОЛЬ ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ В ФОРМИРОВАНИИ СОСТАВА ВОДЫ ГОРНЫХ РЕК (СЕВЕРНЫЙ КАВКАЗ, РЕСПУБЛИКА КАБАРДИНО-БАЛКАРИЯ)

Г.С. Шилькрот, Т.М. Кудерина, Л.Г. Лобковская

*Институт географии РАН, Москва, Россия*

*g.s.shilkrot@igras.ru, t.m.kuderina@igras.ru, l.g.lobkovskaya@igras.ru*

Химический состав воды горных рек формируется в отличие от равнинных водотоков в более сложных ландшафтных условиях. Во многих случаях для них характерна резкая смена источников их водного и вещественного питания по длине реки от истока к устью, т.е. от высокогорий к предгорью. В высокогорье реки питаются главным образом талыми водами снежников и ледников и получают с ними современные и накопившиеся со временем в телах снежников и ледников поступления химических элементов с атмосферными осадками. В среднегорье и в предгорьях, где, как правило, возрастает интенсивность биологических и, соответственно, химических процессов превращения веществ в ландшафтах, особенно значимым становится фактор выщелачивания химических элементов из горных пород водосборов. Поступают эти элементы в реки с подземным и ливневым паводочным стоком, определяя основные черты состава речных вод. Указанные природные факторы могут играть определяющую роль даже при антропогенных воздействиях на состав речных вод.

В докладе, на примере нескольких горных рек Республики Кабардино-Балкария, мы попытались показать важную роль природных факторов в формировании современного химического состава их вод.

Объекты исследования: реки Баксан, Терек, Черек, Нальчик и Кенделен, а также озеро Нижнее Голубое в бассейне р. Черек Балкарский (рисунок). Река Баксан является правым притоком р. Малка, впадающей в р. Терек на территории Кабардино-Балкарии. Истоки Баксана – в районе г. Эльбрус. Серьезный антропогенный фактор воздействия на качественный состав речных вод Баксана – Тырнаузский вольфрамово-молибденовый комбинат. р. Терек – истоки её находятся на склонах Главного, или Водораздельного хребта Большого Кавказа. Воды реки несут много взвеси. Река богата рыбой. Воды её используются для орошения (Терско-Кумский канал).

Р. Черек – приток р. Баксан, образуется слиянием Черека-Балкарского и Черека Хулаского, длина 76 км. Начало рекам дают ледники. р. Нальчик – небольшой водоток, входит в бассейн р. Черек. Может испытывать влияние г. Нальчик. Осадков в районе г. Нальчика (высота ~ 500 м над у. м.) выпадает от 500 до 2000 мм в год. Р. Кенделен – малый правый приток р. Баксан.

Озеро Нижнее Голубое – небольшое по площади водной поверхности, расположено на высоте около 900 м над уровнем моря. По – балкарски оно называется либо Чирик-кель (т.е. Голубое) – из-за красивого бирюзового цвета воды и её большой, до 30 м, прозрачности, либо Церик-кель (т.е. «Вонючее») – из-за ощущаемого близ водоема сильного запаха сероводорода. Этот карстовый

водоем изучался многими [4, 5, 1]. Его глубина более 200 м. Из него вытекает мощный поток вод, явно подземных, если учесть малую площадь озера, отсутствие поверхностных притоков в него и минерализацию озерной воды до 1 г/л. Особенности химического состава его вод свидетельствуют о свойствах питающих озеро подземных вод, характерных для района исследования.

Наше исследование базируется на данных синхронно выполненной в мае 2019 г. гидрохимической съемки рек в ближайшем окружении г. Нальчик, р. Баксан в высокогорье и оз. Нижнее Голубое. Пункты наблюдений (с 1 по 7) и отбора проб воды показаны на рисунке. Пункт 1 – р. Кенделен, перед впадением её в р. Баксан; п. 2 – р. Баксан, ниже пос. Нейтрино; п. 3 – оз. Нижнее Голубое; п. 4 – р. Терек; п. 5 – р. Черек; п. 6 – р. Нальчик, ниже города; п. 7 – р. Нальчик, перед городом.

В отобранных пробах воды определялись важнейшие химические ингредиенты – от ионов до микроэлементов (таблица). На месте наблюдений определялись минерализация воды и рН. То и другое выполнено с помощью портативных приборов серий Hanna и рНер. В Москве, в лабораторных условиях, проанализировано (титрованием) содержание в воде анионов, а содержание катионов и ~ 50 микроэлементов методом ICP-MS, т. е. методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на приборе Elan 6100. При обсуждении результатов используются материалы проводившихся нами в этом регионе исследований в 1980-х гг. [5] и в начале 2000-х гг. [3; 6], а также данные из литературных источников.

Полученные гидрохимические и геохимические показатели для рек региона показывают значительное разнообразие состава их вод, что можно связать с природными различиями водного и вещественного питания исследованных рек.

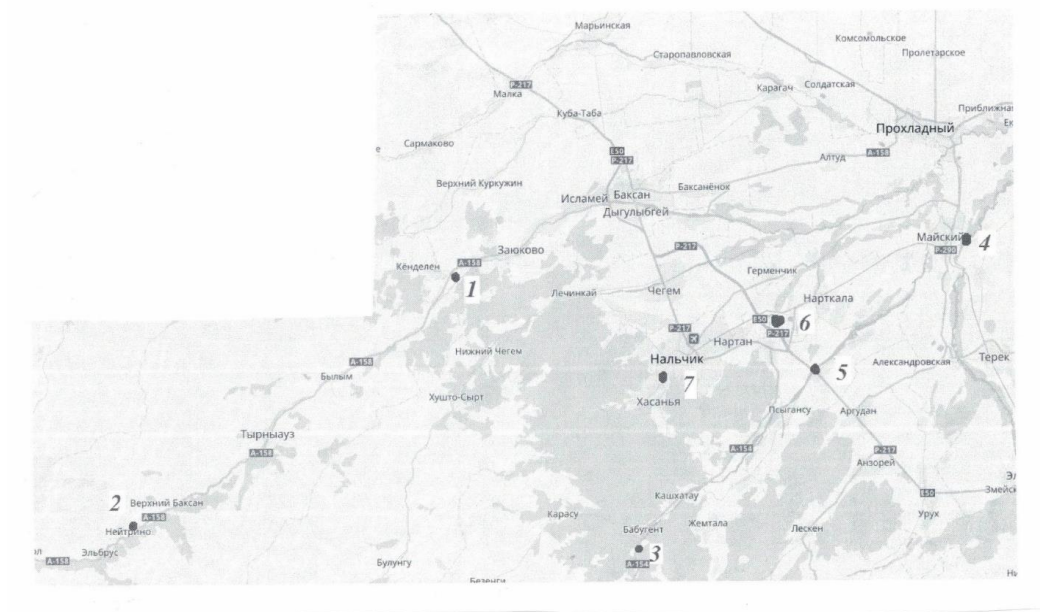


Рисунок – Картосхема расположения пунктов наблюдения. Пункты 1 – 7, описание в тексте



Незначительной величиной минерализации воды и ее гидрокарбонатно-кальциевым составом выделяется р. Баксан (таблица), питающаяся талыми водами снежников и ледников. Для вод Баксана характерно хорошее соотношение содержания гидрокарбонатов и кальция (в мг-экв). Для других рек, как видно на примере оз. Нижнее Голубое [5], основными ионами уже являются кальций и сульфаты, что указывает на влияние на вещественное питание этих объектов гипсоносных пород, [2] обогащающих подземные и поверхностные воды указанными ионами. Яркое проявлено это для р. Кенделен. Её воды самые минерализованные, а величина жесткости превышает ПДК (7,0 мг-экв) для питьевых вод.

Таблица – Химические показатели речных и озерных вод района исследования, май 2019 г. Минерализация воды – М (сумма ионов), основные ионы и микроэлементы, мг/л. (в скобках- мг-экв)

Место отбора проб*	pH	М	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Sr	Fe
1	7.8	554	134 (2,2)	167 (8,3)	2,8	1,1
2	7.3	149	91.5 (1,5)	25.3 (1,3)	0,08	0,35
3	7.7	633	122 (2,0)	-	-	-
4	7.0	297	140 (2,3)	68,3 (3,4)	0,42	1,7
5	7.9	351	91.5 (1,5)	74.6 (3,7)	1,4	0,2
6	8.1	241	104 (1,7)	58.1 (2,9)	0,76	0,1
7	7.6	182	91,5 (1,5)	72.1 (3,6)	0,54	2,1
ПДК**	6 – 9	1000	180	Не норм.	7,0	0,3

\*- см. рисунок; \*\* – СанПин 2.1.4. 1074 – 01. Питьевая вода. Гигиенические нормативы ....(с изменениями на 2 апреля 2018 года).

Преобладающими микроэлементами в реках исследуемого района являются стронций, железо, барий, цинк, марганец, литий и т.д. Максимальные концентрации Sr отмечены в водах рек Кенделен и Черек, Fe – в реках Нальчик (перед городом, после ливней, п.7), Терек и Кенделен (таблица). В реках Терек и Нальчик (п.7) много Mn, в р. Нальчик – Ba, в реках Терек, Нальчик (п.7) и Кенделен – Zn, в реках Терек и Нальчик (п. 7) – Pb.

В воде Терека оказалось более высоким в сравнении с другими реками содержание многих элементов: цинка, лития, марганца, свинца и мышьяка. Содержание всех микроэлементов, кроме Fe и Mn, в воде Терека и других резко значительно ниже нормативов для питьевых вод. Нормативы превышены по Fe

в 4-7 раз для рек Терек, Кенделен, Нальчик (до города, после ливней) и по Mn в 1,5 раза – (реки Терек и Нальчик, п. 7)

Для вод р. Баксан, в направлении от высокогорья к среднегорью и предгорью, характерно повышение минерализации и содержания некоторых микроэлементов – As, Cr и Sr, особенно последнего [6]. Что обуславливается, несомненно, влиянием обогащенных стронцием терригенно-карбонатных отложений [2]. Ранее [6] было отмечено заметное влияние на состав вод р. Баксан деятельности Тырныаузского комбината.

Результаты гидрохимической съемки нескольких рек региона позволяют оценить значимость природных факторов в современный период в формировании состава речных вод. И показать различия этих факторов в условиях высокогорных и среднегорных ландшафтов. Главным природным фактором для рек высокогорья являются питающие их талые воды снежников и ледников. Минерализация речных вод здесь (р. Баксан) низкая, основные ионы Ca и Mg. Для рек среднегорья важны другие природные факторы – ливневой сток с водосборов, подземные воды и состав горных пород (гипс и др.). В результате минерализация речных вод здесь повышенная, основные ионы Ca и SO<sub>4</sub>. Это хорошо видно по данным для рр. Кенделен, Нальчик, Черек, Терек. Содержание микроэлементов в речных водах региона испытывает значительное влияние горных пород и атмосферных осадков. Так, после ливней, в р. Нальчик (перед городом) содержание растворенных Zn, Cd, Zr, Nb, возросло в 4-10 раз, а Pb- 14 раз, в сравнении с п. 6 (ниже города, до ливней). В воде всех исследуемых рек преобладают Fe, Sr, Mn, Ba и др. Отмечен в речных водах уран, максимум его – 2,5 и 3,0 мкг/л – в реках Баксан и Черек, соответственно.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ИГ РАН 0148-2019-0007 «Оценка физико-географических, гидрологических и биотических изменений окружающей среды и их последствий для создания основ устойчивого природопользования».*

#### Список литературы

1. Гигинейшвили Г. Н., Гвахария В.К., Маткава Д.И., Канделаки В. В., Монишвили Д.М. Чирик-кель – глубочайшее карстовое озеро СССР // Изв. АН СССР. Сер. географ. № 1. 1983. С. 83-90.
2. Дьяченко В.В. Геохимия, систематика и оценка состояния ландшафтов Северного Кавказа. Ростов-на-Дону, 2004. 267 с.
3. Кудерина Т.М., Шилькрот Г.С., Кудиков А.В. Качество поверхностных вод горных ландшафтов Северного Кавказа // Геоэкологические проблемы современности. Докл. 2-ой Междунар. Конф. Владимир, 18-20 сент. 2008 г. Владимир-Москва, 2008. С. 124-126.
4. Кузнецов И.Г. Озеро Церик-кель и другие формы карста в известняках Скалистого хребта на Северном Кавказе // Изв. РГО. 1928. Т. 60. Вып. 2. Л.-М.: Госуд. изд-во. С. 294-296.
5. Шилькрот Г.С. Карстовые озера – их свойства и отклик на антропогенные воздействия // Трансформация горных экосистем Большого Кавказа под влиянием хозяйственной деятельности. Москва: Институт географии АН СССР, 1987. С. 78-90.
6. Шилькрот Г.С., Кудерина Т.М. Геохимия речных и озерных вод разных географических ландшафтов // Вопросы географии. Сборник 133. Географо-гидрологические исследования. Москва: Изд. дом «Кодекс». 2012. С. 418-430.

# ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ БАССЕЙНА РЕКИ ВАХШ (РЕСПУБЛИКА ТАДЖИКИСТАН) ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ КОМПЕНСАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЗАДАННОГО КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

А.И. Шишкин, И.А. Куватов

*Высшая школа технологии и энергетики СПбГУ промышленных технологий и дизайна, Санкт-Петербург, Aishishkin@yandex.ru, Iqbol\_90@inbox.ru*

Построение имитационной модели бассейна р. Вахш на геоинформационной основе связано с классификацией и районированием всего природно-хозяйственного комплекса (ПХК). Для структурированной модели ПХК сформирована база данных с целью необходимости разработки и обоснования комплекса мероприятий по предотвращению или минимизации загрязнения поверхностных вод для второй по величине водной системы республики Таджикистан. Производственно-коммунальная и сельскохозяйственная нагрузка на речную сеть бассейна р. Вахш, как показали исследования, отличается значительной неравномерностью в верхнем, среднем и нижнем течении, что предопределило необходимость интегрированного районирования по гидро- и морфологическим, а также гидрохимическим и гидробиологическим показателям. Действующий каскад ГЭС определяет в значительной степени, как гидрологический, так и гидрохимический режим поверхностных вод бассейна (рисунок 1). Районирование бассейна проведено по видам источников, а их ранжирование – по специфике и массам загрязняющих веществ на основе многолетней базы данных действующих постов наблюдений, включая контроль по гидрохимическим и гидробиологическим показателям.

Рассмотренная имитационная модель ПХК позволяет поддерживать управленческие решения поэтапных компенсационных мероприятий достижения заданных требований водопользователей для каждого из водохозяйственных участков на уровне сформированных баз данных.

Применение метода КФКТ предопределяет необходимость создания полноценной базы данных и последовательной реализации алгоритма последующим этапам [1]:

- сжатие информации по составу природных и сточных вод в виде комплексных интегральных оценок с содержательной их интерпретацией;
- применение кластерного и факторного анализов для 22 гидрохимических показателей в М створах речного бассейна за 2 сезона;
- определение элементов корреляционных матриц, а также установление общих факторов методом максимального правдоподобия.

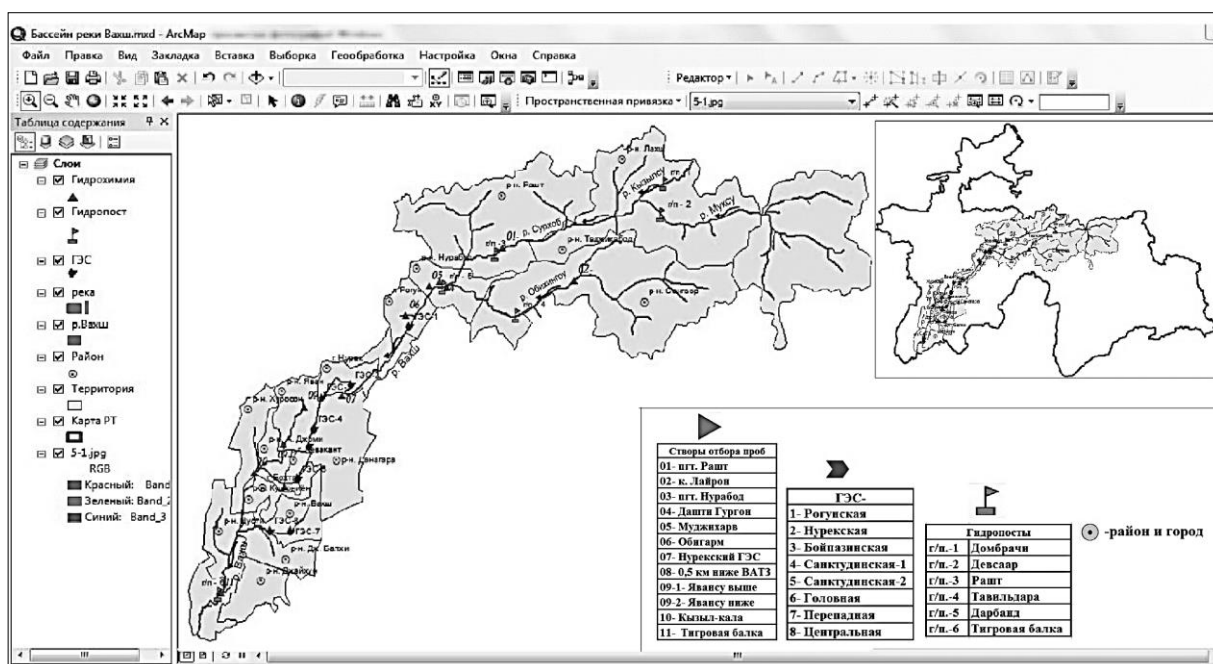


Рисунок 1 – ГИС карта бассейна реки Вахш Республики Таджикистан

В соответствии с созданной базой данных гидрохимических характеристик за 2018 г. (по 22 показателям) произведено построение  $K_m$  обобщенных показателей-факторов, объясняющих >90 % первоначального объема информации.

$$K_m = \sum_{i=1}^p a_i f_{mi}; m = 1, 2, \dots, M,$$

где  $f_{mi}$  – факторные коэффициенты;  $a_i$  – коэффициенты сравнительной значимости факторов;  $M$  – количество объектов.

Согласно рекомендациям для каждого временного периода, проводится содержательная интерпретация и оценка выявленных факторов [1,4].

Определение значений общих факторов осуществляется для каждого из  $M$  контролируемых створов. По полученным результатам произведено построение картограмм, составляемых по оценкам факторов, и выявление участков бассейна рек с разной степенью проявления каждого фактора. Идентификация компактных скоплений объектов техногенных воздействий по однородности и степени загрязнения позволила районировать исследуемый бассейн (рисунок 2).

Применение метода таксономического анализа позволило выявить группы связанных показателей в определенной таксономической категории с выделением ранга репрезентативных показателей качества речной воды. На основе 22 гидрохимических показателей определено  $m$  (сульфаты, натрий, калий, кальций, магний) ранговых репрезентативных показателей. Рассчитывается вес каждого показателя и коэффициент иерархии.

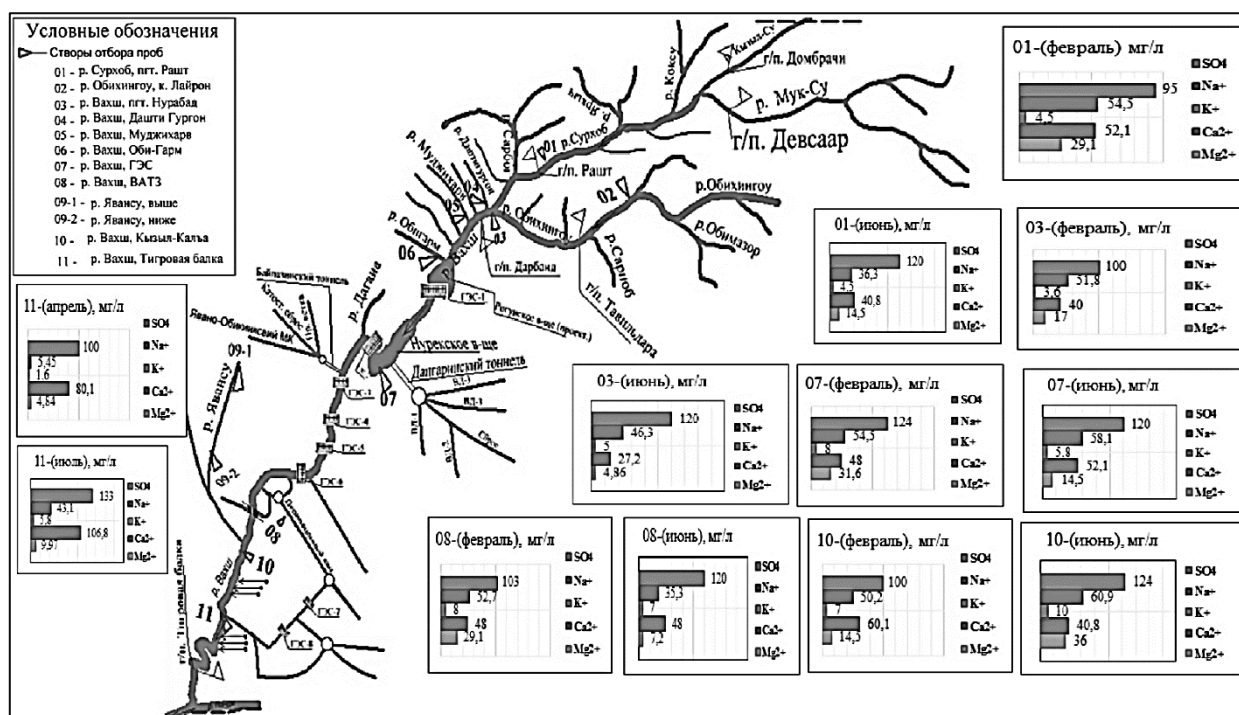


Рисунок 2 – Оценка уровня и специфики загрязненности бассейна р. Вахш по водохозяйственным участкам

На основе обобщенного показателя «уровень загрязнения» построены картограммы и диаграммы, исключаяе фактор субъективности на основе метода КФКТ, позволяющие районировать речной бассейн с выявлением веса загрязнений всех источников и обеспечения бассейновых норм допустимых воздействий (НДВ) при реализации компенсационных мероприятий.

В заключение следует отметить, что на основе применения метода КФКТ по 22 гидрохимическим показателям для 12 створов бассейна реки Вахш выявлены обобщённые интегральные показатели – факторы, рассчитаны комплексные оценки и определены репрезентативные показатели для этих периодов [1, 2, 5].

Предложенная методика и методы могут быть рекомендованы для других бассейнов республики, как р. Пандж, Сырьдарья, Зеравшан, Кафирниган, Каратаг для нормирования нагрузки и разработки компенсационных мероприятий [2, 3].

#### Список литературы

1. Дружинин Н.И., Шишкин А.И. Математическое моделирование и прогнозирование загрязнения поверхностных вод суши. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 329 с.
2. Мониторинг качества поверхностных вод в республике Таджикистан. Душанбе: Гидрометслужб. 2019.
3. Наврузов С.Т. Моделирование в управлении водными ресурсами. Душанбе: «ЭР-граф», 2013. 280 с.
4. Никаноров А.М. Научные основы мониторинга качества вод. СПб: Гидрометеиздат, 2005. 574 с.
5. Шишкин А.И., Куватов И.А., Барххуев Х.О. Районирование бассейна р. Вахш по интегральной нагрузке основных промышленных и сельскохозяйственных производств / Сборник материалов XXIV Международного Биос-форума. Книга 1. СПб.: Любавич, 2019. С. 356-366.

## СЕКЦИЯ 2. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ, ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

### ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО НОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД БАССЕЙНА Р. ТЕРЕК

Ф.А. Атабиева

*Высокогорный геофизический институт, Нальчик, vgikbr@yandex.ru*

Одной из главных причин ухудшения качества воды в последнее время признается несовершенство системы нормирования. В частности, в качестве критериев нормирования применяются одинаковые для всей территории России ПДК, которые зависят только от вида водопользования и не учитывают региональных особенностей формирования состава природных вод [1, 2]. Для России с ее крайним разнообразием климатических, гидрологических условий и резкими региональными различиями в типах природопользования, степени и интенсивности хозяйственного освоения это особенно актуально.

В результате анализа данных многолетних наблюдений, с 2005 по 2018 гг., по изучению концентраций соединений тяжелых металлов в основных реках бассейна р. Терек обнаружено превышение ПДК для водоемов рыбохозяйственного значения по содержанию соединений меди, марганца, молибдена, цинка и свинца. В связи с тем, что истоки исследуемых рек сосредоточены в высокогорной зоне и берут начало с ледников Главного Кавказского и Бокового хребтов Большого Кавказа, химический состав воды этих рек в значительной мере определяется процессами выщелачивания, или химического выветривания горных пород и степенью взаимодействия воды с продуктами выветривания. Как отмечено в [3], вся территория Северного Кавказа загрязнена Ni, Zn, Cu, Cr, Sn, Pb, а отдельные ландшафты и Mo, V, Mn и Sr. Очевидно, что литогеохимические особенности, вертикальная зональность территории, многообразие подстилающих горных пород и почв водосборных площадей предопределяют повышенное содержание тяжелых металлов в воде рек Центрального Кавказа ледникового происхождения. Эти факторы обусловили повышенный фон соединений Mo, Zn, Pb, Mn в воде исследуемых рек.

При антропогенном загрязнении соединения тяжелых металлов выносятся в водоемы со сточными водами обогатительных фабрик, металлургических заводов, предприятий химической промышленности и с шахтными водами. Таковые в предгорной зоне исследуемой территории отсутствуют за исключением Тырнаузского вольфрамомолибденового комбината, но он давно законсервирован и не работает. Таким образом, можно сделать предположение о природном характере загрязнения воды исследуемых рек соединениями Mo, Zn, Pb, Mn.

Сравнение частоты превышения ПДК<sub>рыб</sub> растворенных форм соединений тяжелых металлов показало, что частота превышения ПДК<sub>рыб</sub> за период 2005-

2018 г. (рисунок 1, а-г), для предгорных и устьевых участков исследуемых рек различна.

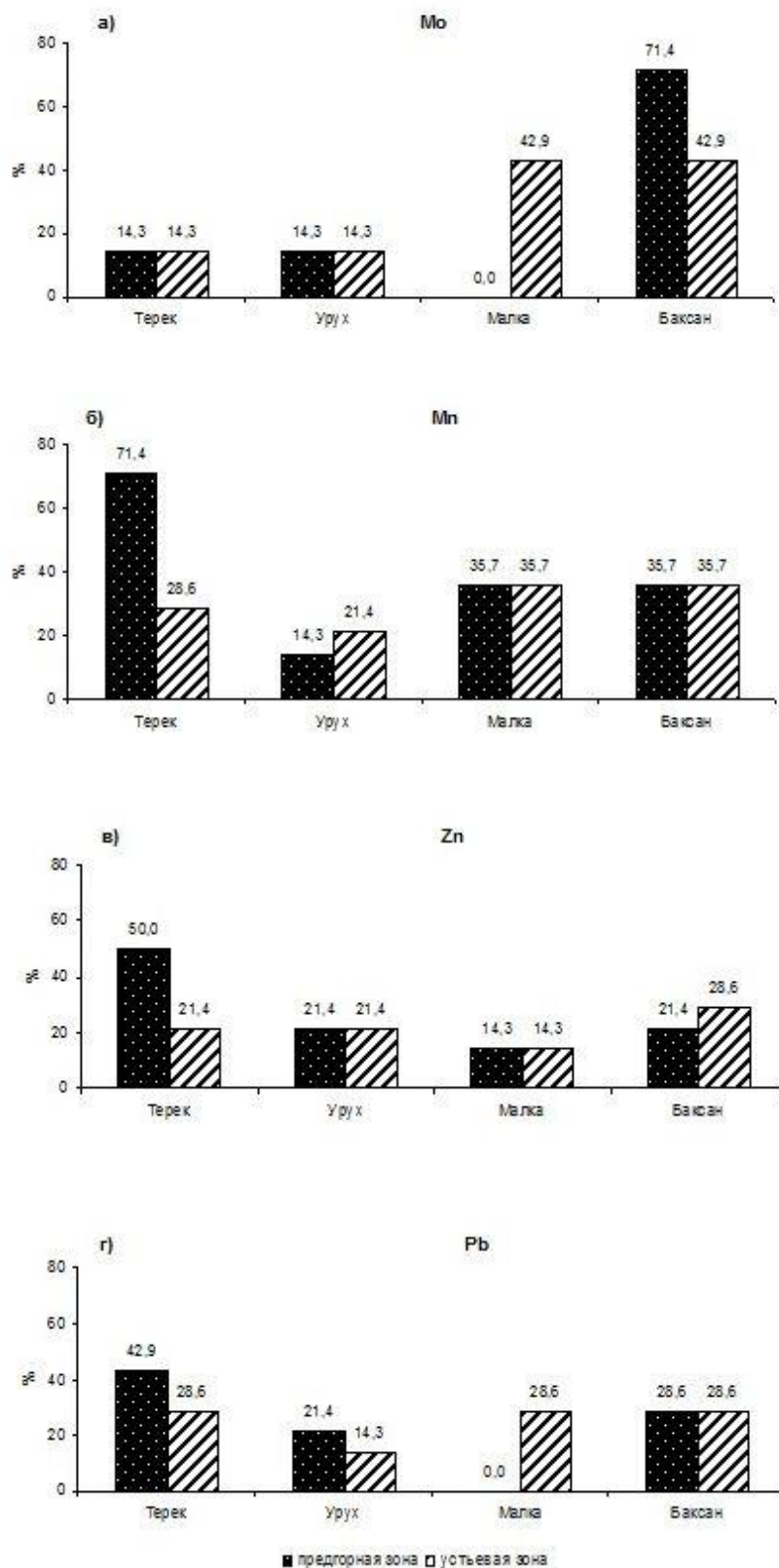


Рисунок – Частота превышения ПДК<sub>рыб</sub> растворенных форм соединений Mo, Zn, Mn и Pb в воде рек бассейна Терека

Наибольшая частота случаев превышения ПДК<sub>рыб</sub> по соединениям Мо наблюдалась в р. Баксан и составляла 71,4 % и 42,9 % (в предгорной и устьевой зоне соответственно) от общего числа проанализированных образцов. По соединениям Mn наибольшая частота случаев превышения ПДК<sub>рыб</sub>, составляя 71,4 % и 28,6 % (в предгорной и устьевой зоне соответственно) от общего числа проанализированных проб, наблюдалась в воде р. Терек. По соединениям Zn и Pb наибольшая частота случаев превышения ПДК<sub>рыб</sub> также отмечается в р. Терек, составляя 50 % и 21,4 % (по Zn), 42,9 % и 28,6 % (по Pb) в предгорной и устьевой зоне соответственно. В воде исследуемых рек бассейна р. Терек для растворенных форм Cr и Ni превышения ПДК<sub>рыб</sub> не отмечено.

Наибольшее число случаев превышения ПДК<sub>рыб</sub> соединениями тяжелых металлов наблюдалось в предгорной зоне рек Терек и Баксан.

Некоторые эксперты выступают за бассейновый подход в сфере нормирования качества вод. Разработка и внедрение бассейновых предельно допустимых концентраций (БДК) может позволить исправить ситуацию, когда ПДК не могут быть соблюдены в силу естественных причин, обусловленных природным гидрохимическим фоном. Однако до сих пор отсутствует научное обоснование этих нормативов и процедура их разработки.

#### Список литературы

1. Гагарина О.В. Оценка и нормирование качества природных вод: критерии, методы, существующие проблемы. Учебно-методическое пособие. Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2012. 199 с.
2. Газаев Х.-М.М., Атабиева Ф.А., Кучменова И.И., Жинжакова Л.З. Особенности формирования химического состава воды ледниковой реки Черек-Безенгийский. // Вода: химия и экология. 2016. №3 (93). С. 73-77.
3. Дьяченко В.В. Геохимия и оценка состояния ландшафтов Северного Кавказа: автореферат дис. док. географ. наук: 25.00.23. Ростов-на-Дону, 2004. 48 с.



# ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ ПО ДЛИНЕ РЕКИ ГОРЫНЬ В СВЯЗИ С ПОСЛЕДСТВИЯМИ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

С.В. Будник

*Центральная геофизическая обсерватория им. Бориса Срезневского, Киев,  
Украина, svetlana\_budnik@ukr.net*

Температура воды в реке является одним из важнейших показателей ее состояния, она включена в перечень обязательных показателей при контроле ее качества. Температурный режим рек имеет существенное значение для функционирования местных биогеосистем, влияет на физико-химические, в том числе и окислительно-восстановительные процессы в них, оказывает влияние на хозяйственную деятельность человека и т.п.

Температурный режим рек исследовали многие авторы, в том числе [1, 3-6 и др.]. Так, К.П. Воскресенский [1] указывает, на то, что температура воды малых рек подвержена более сильным колебаниям и эти изменения зависят от температуры воздуха, высоты водосбора (даже для равнинных рек), размера водосбора, доли грунтового питания. Эти влияния могут усиливать друг друга, так, при малых водосборах и значительном грунтовом питании различия в температуре рек выражены более сильно. Для больших рек влияние перечисленных факторов нивелируется. Е.М. Соколова [4] указывает, что изменение температуры воды по длине реки весьма разнообразно и обусловлено многими причинами. На равнинных реках оно зависит от направления течения реки, температуры воды впадающих притоков и от скорости продвижения вниз по реке волны весеннего половодья, также следует учитывать источник питания реки. Почти на всех реках температура воды повышается от истока вниз по реке. На реках, впадающих в северные моря, самые низкие температуры воды наблюдаются в верховьях и в низовьях реки. Низкие температуры воды наблюдаются в верховьях всех рек независимо от того, откуда они берут свое начало. Исключением могут быть только реки, вытекающие из озер, расположенных на юге. На реках, протекающих с юга на север, температура воды повышается от истока вниз по течению на определенном участке, длина которого зависит от длины самой реки, чем короче река, тем короче этот участок. Дальнейшее изменение температуры воды зависит от приточности, географической зоны, объема протекающего стока, характера питания реки и т.п.

В последнее время все чаще появляются сообщения о критическом состоянии многих рек бассейна Припяти, отмечается обмеление и даже пересыхание части из них, зарастание и т.п. Все это относят, не обосновательно, на счет изменения климата. Климат исследуемой территории в последнее время подвергся значительным изменениям (выроста среднегодовая температура воздуха, увеличилось количество осадков за год, возросло испарение и т.п.), что повлекло за собой изменение в водности и режиме рек и сказалось на изменении температуры воды в многолетнем

разрезах. Задачей исследования было проследить динамику изменения температуры воды в реке Горынь по ее длине и во времени.

Река Горынь является правым притоком Припяти, впадает в нее на 412 км от истока реки. Длина реки Горынь составляет 659 км, протекает она с юга на север через две природные зоны: лесостепь и полесье. За период инструментальных наблюдений на реке в разное время было открыто около 13 водомерных постов, на части из них проводились наблюдения только за уровнями воды, часть из них позднее была закрыта. Тем не менее, по ряду постов (Ямполь, Оженин, Деражно) имеются ряды наблюдений более 75 лет. В таблице представлен список постов, по которым в разное время гидрометслужбой проводились наблюдения за температурой воды в реке Горынь и которые были использованы для исследований.

Таблица – Гидрологические посты на реке Горынь, по которым имеются наблюдения за температурой воды

Гидрологический пост	Расстояние от истока, км	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>
р. Горынь – пгт. Ямполь	71	1400
р. Горынь – г. Славута (верхний и нижний бьеф)	175	3590
р. Горынь – с. Оженин	223	5860
р. Горынь – с. Деражно	379	9160
р. Горынь – с. Степань	456	10300
р. Горынь – с. Дубровица	542	12000
р. Горынь – пгт. Речица	589	27000
р. Горынь – г. Давид – Городок	645	27700

Анализ материалов наблюдений показал, что средняя температура воды за год в реке в большей степени изменяется со временем, чем по длине реки (рисунок 1). Причем, со временем она увеличивается (рисунки 1-2). Наименьшая температура отмечается ближе к истоку реки и к ее устью, что согласуется с исследованиями других авторов [4]. Температура воды грунтовых вод, которую можно принять за среднюю при минимальном стоке и преобладании грунтового питания, в пределах Припяти составляет 8-9 °С [2].

Изменение максимальной температуры воды в реке Горынь во времени и по длине реки более сложно (рисунок 3) и имеет минимумы практически по всей длине реки в 70-80-тые годы прошлого столетия, это может быть связано с наличием некоторых многолетних циклов (рисунок 4). Однако в последние годы она также показывает тенденцию к росту.

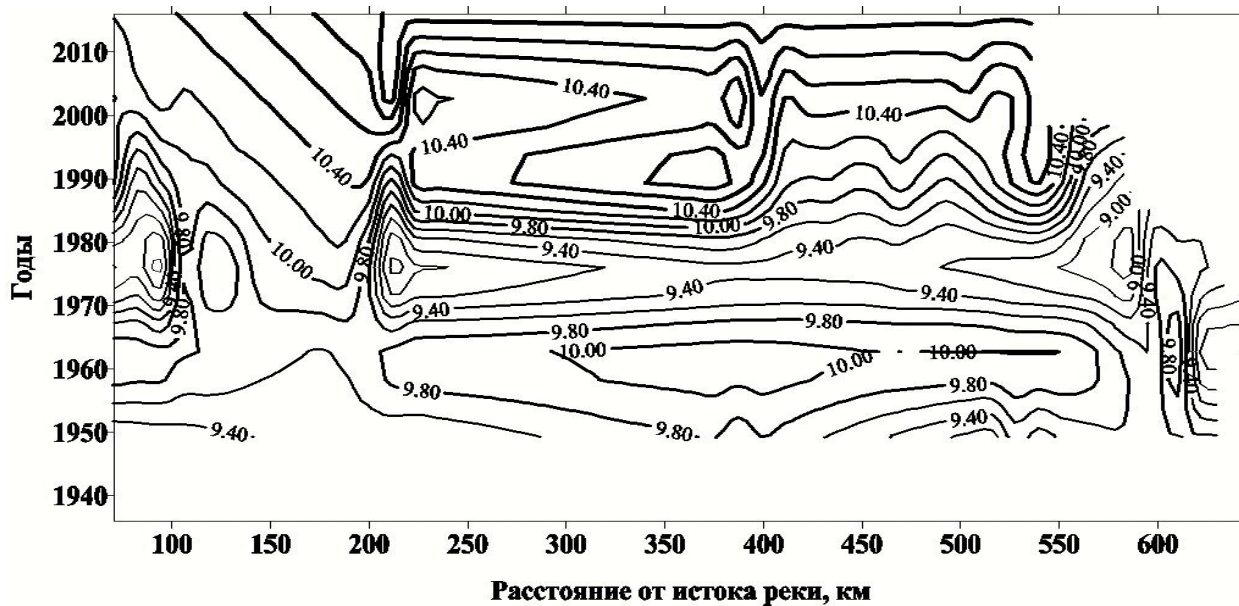


Рисунок 1 – Изменение средней температуры воды в реке Горынь по длине реки и во времени

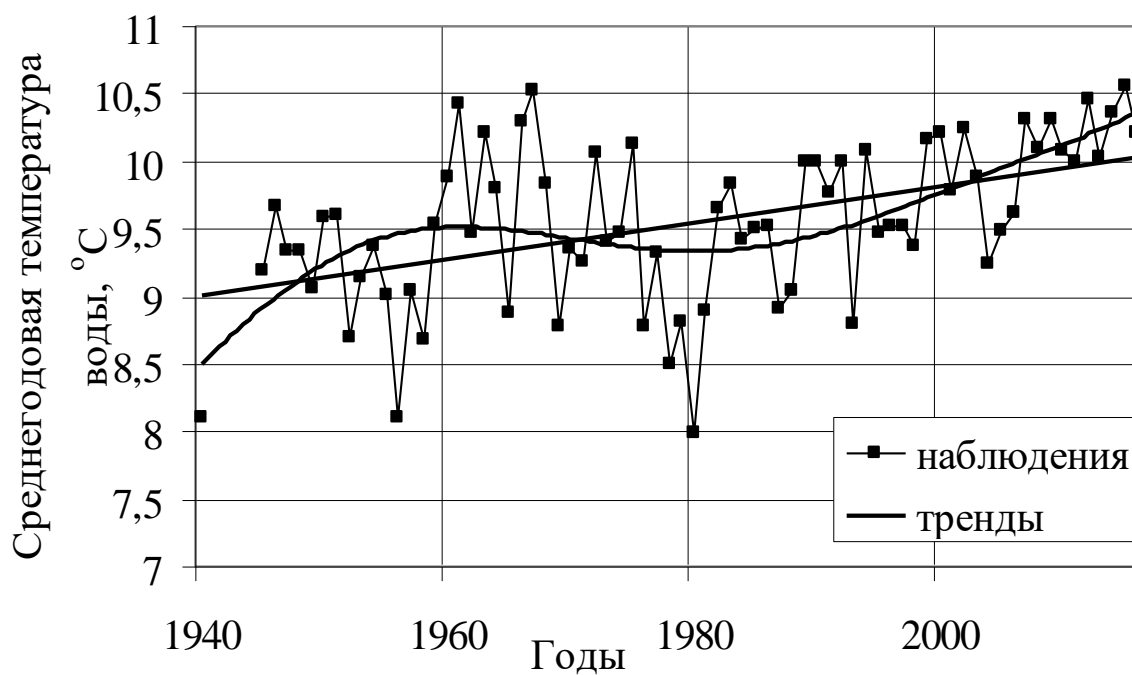


Рисунок 2 – Изменение среднегодовой температуры воды на посту р. Горынь-пгт. Ямполь

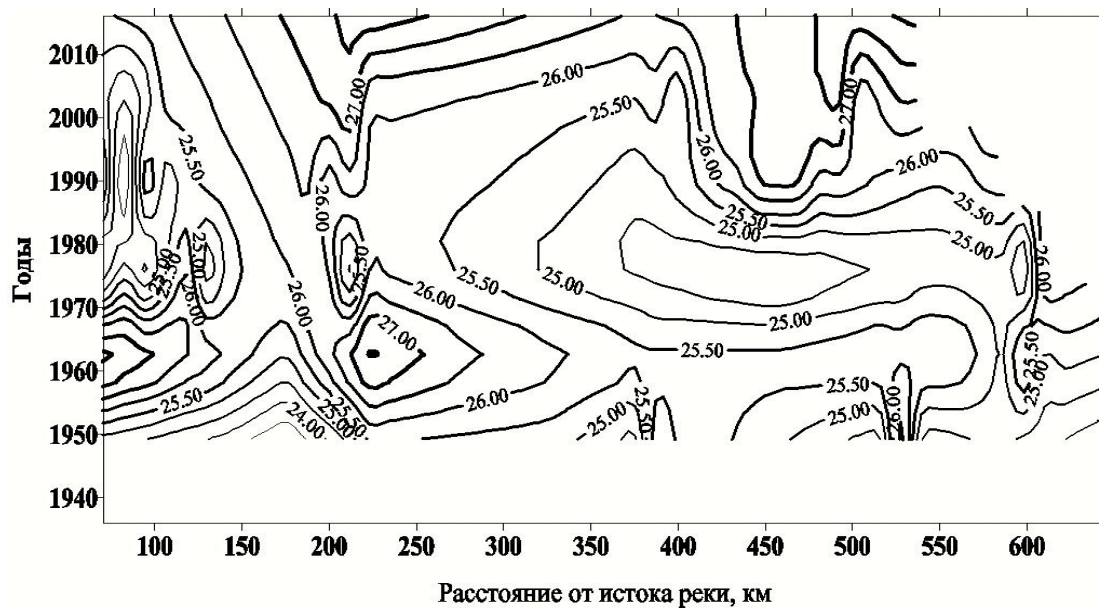


Рисунок 3 – Изменение максимальной температуры воды в реке Горынь по длине реки и во времени

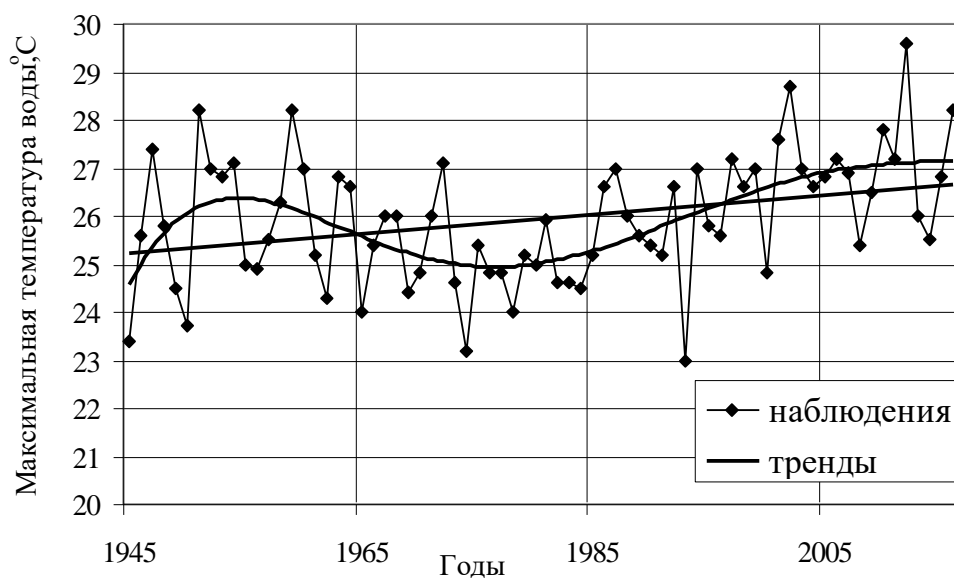


Рисунок 4 – Изменение во времени максимальной за год температуры воды на посту р. Горынь – с. Дубровица

Выводы: Изменения климата, происходящие на исследуемой территории, отражаются и на изменении температуры воды в реке Горынь. Причем, эти изменения заметнее во времени, чем по длине реки. В целом, в последнее время отмечается рост, как среднегодовой температуры воды, так и максимальной за год. Такие изменения могут привести к перестройке водных биоценозов.

### Список литературы

1. Воскресенский К.П. Сток рек и временных водотоков на территории лесостепной и степной зон Европейской части СССР. // Труды ГГИ. Вып. 29 (83). Л.: Гидромет. издат-во. 1951. 148 с.
2. Государственный водный кадастр. Водные ресурсы, их использование и качество (за 2016 год). Минск, 2017. 172 с.
3. Кузьмина Е.О. Особенности термического режима рек на юге Европейской территории России. // Вестник ВГУ, серия: География, Геоэкология, 2013, № 2. С. 86-92.
4. Соколова Е.М. Термический режим рек СССР // Труды ГГИ. Вып.30 (84). 1951. 116 с.
5. Chen, D, Hu, M., Guo, Y. et al. Changes in river water temperature between 1980 and 2012 in Yongan watershed, eastern China: Magnitude, drivers and models. // Journal of Hydrology. 2016. P.191-199.
6. Hannah, D.M and Garner, G 2015 River water temperature in the United Kingdom: Changes over the 20th century and possible changes over the 21st century/ Progress in Physical Geography. Vol. 39. no. 1. P. 68-92.

# ГИДРОЛОГО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТИПИЗАЦИИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ТОВАРНОЙ АКВАКУЛЬТУРЫ

С.В. Жукова, Т.И. Подмарева, Д.С. Бурлачко, И.Ф. Фоменко, В.Г. Карманов,  
Е.А. Безрукавая, Л.А. Лутынская  
(АЧФ ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»)), Ростов-на-Дону,  
*gidroazniirh@yandex.ru*

С целью проведения типизации и разработки методов оценки продуктивности водных объектов рыбохозяйственного значения для развития товарной аквакультуры в рамках выполнения прикладных исследований по Государственному заданию институтом «АзНИИРХ», начиная с 2018 г., проводятся комплексные исследования водоемов Ростовской области. В процессе сезонных (весна, лето, осень) исследований 2018 и 2019 гг. изучены 50 водоемов южной, восточной и центральной частей региона, в 2020 г. – изучаются 20 водоемов, в основном, западной части Ростовской области.

Выбор модельных водоемов осуществлялся с использованием реестра водных объектов Ростовской области и перечня рыбопромысловых участков в Административных границах Ростовской области для товарного рыбоводства и организации любительского и спортивного рыболовства. В основу выбора водоемов был положен принцип гидролого-климатического зонирования с учетом административного деления территории Ростовской области на 43 муниципальных района (по 1-2 водоема в каждом районе). Исследованные водоемы включали: 4 водохранилища, 6 озер, 30 балочных и 10 русловых прудов (рисунок 1), относящихся в гидрологическом отношении, главным образом, к слабоизученным и неизученным водным объектам.

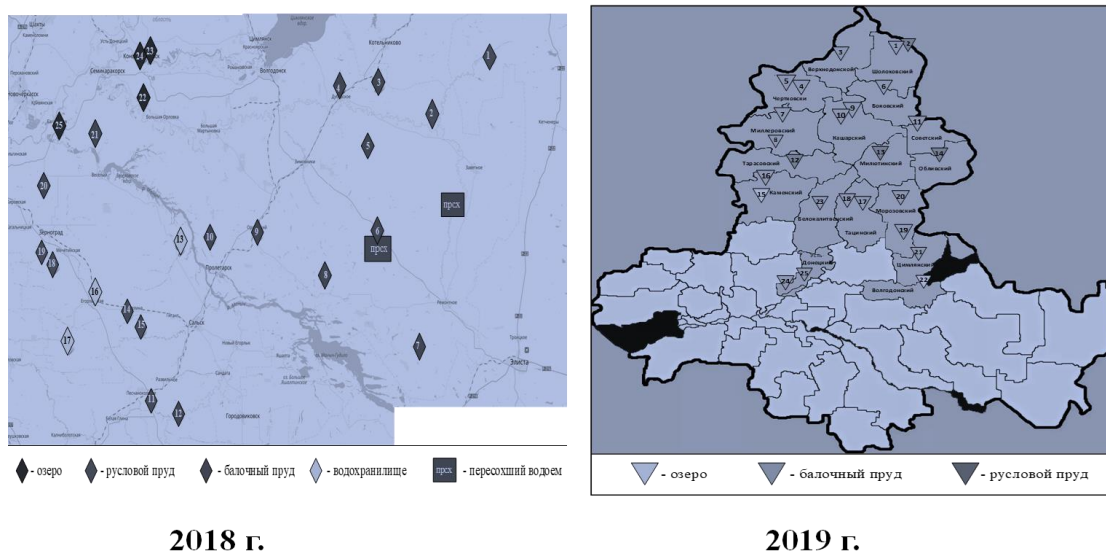


Рисунок 1 – Схема водоемов Ростовской области, исследованных в 2018 и 2019 гг.

В качестве основных гидролого-экологических критериев были выбраны: морфометрические признаки (площадь водоема, глубина и т.д.); тип питания; заиление; зарастаемость водоема; изменения уровня воды; прозрачность и цвет воды; температура воды; оценка состояния ГТС; оценка инфраструктуры (местоположение водоемов), рекреационное использование и др. Оценка пригодности водоемов для целей аквакультуры производилась по разработанной балльной шкале для каждого критерия [3].

Классификация водотоков по физико-географическим признакам [1] позволила отнести большинство исследуемых водоёмов к 1-му разряду (объекты не пересыхают) и часть – ко 2 разряду (объекты пересыхают). По гидрологическому режиму и по условиям водообмена все водоемы были отнесены ко 2-му разряду. По сумме разрядов большая часть исследуемых водоёмов соответствует IV классу, подклассам А и Б (соответственно неблагоприятные и благоприятные условия). Водоемы имеют снеговое и дождевое питание, а в ряде случаев присутствует и грунтовой питание [5]. В единственном случае в балочном пруду на б. Журавка (Тацинский район) происходит дополнительная подпитка шахтными водами. Донные отложения водных объектов были представлены илами, включающими фракции песка и глины. Мощность иловых отложений варьировала в пределах 10-60 см в водоемах центральной и северной частей региона, а в водоемах на востоке области достигала 120 см. Преобладающими видами водной растительности являлись тростник, рогоз и камыш. Зарастаемость водных объектов варьировала от 1 до 75 %. По характеру берегов для водоемов степной зоны наиболее характерны низкие заросшие берега, крутые, высокие и пологие берега встречались на водоемах в бассейне р. Северский Донец. Большинство изученных водоемов образовано земляными насыпными плотинами, поверхность которых служит проезжей частью дорог. Наряду с этим, два водоема (озеро Калач и пруд – накопитель на р. Березовой) созданы с помощью насыпи земляных валов, протяженностью соответственно 3500 и 2650 м. Отдельные дамбы являются глухими земляными сооружениями, перекрывающими местный сток оврагов, балок или русел небольших и средних рек. В телах многих дамб «встроены» водопропускные трубы или другие конструкции водовыпусков, состояние которых, свидетельствует о том, что эти гидротехнические сооружения бесхозны и в процессах регулирования стока исследуемых водоемов не участвуют. Один из исследуемых водных объектов – озеро Воинское гидротехнических сооружений не имеет. Водообмен озера Песчаный Лиман осуществляется самотеком по системе ериков, а дамба на оз. Ильмень имеет вид небольшой земляной перемычки, построенной через соединительный канал. Состояние большинства гидротехнических сооружений оценивалось как удовлетворительное, за исключением полуразрушенного ГТС на водоеме в х. Ериковском. Инфраструктура исследуемых водоемов центральной части примерно одинакова: незначительное удаление от шоссе дорог, близость к линиям электропередачи, однако в неблагоприятных погодных условиях даже при учете небольшой протяженности подъездных грунтовых дорог попасть на водной объект

представляется проблематичным. Водоемы восточной малонаселенной части области характеризовались значительной удаленностью от населенных пунктов и линий электропередач, отсутствием подъездных путей. Оценка уровня безопасности ГТС изменялась от 0 (неисправные) до 3 баллов (исправные).

Термический режим водных объектов определялся закономерностями суточных и сезонных колебаний температур. Стоковые течения в водоемах, как правило, отсутствовали, но при усилении ветровой активности скорость течения иногда достигала 5 см/с. Положения уровней воды корректировались процессами испарения (уровни воды от весны к осени снижались на 5-120 см) или произведенными подпитками воды из вышерасположенных водоемов (уровень возрастал на 7-30 см или оставался неизменным). Один водный объект в летне-осенний период пересох (пруд на р. Большой Гашун, расположенный в 10 км севернее п. Байков).

По итогам проведенных гидрологических исследований составлены гидрологические паспорта для всех водных объектов (рисунок 2). По данным комплексных гидролого-гидрохимических, гидробиологических и ихтиологических исследований сделаны следующие заключения о возможности использования водоемов с целью развития аквакультуры: 23 водных объекта рекомендованы без ограничений; с ограничениями (после проведения ряда мелиоративных мероприятий, связанных с дноуглублением и расчисткой родников, выкосом водной растительности, удалением иловых отложений и др. мероприятий) рекомендованы 33 водных объекта. Не рекомендованы для использования – 3 водных объекта (одно озеро и 2 балочных пруда).

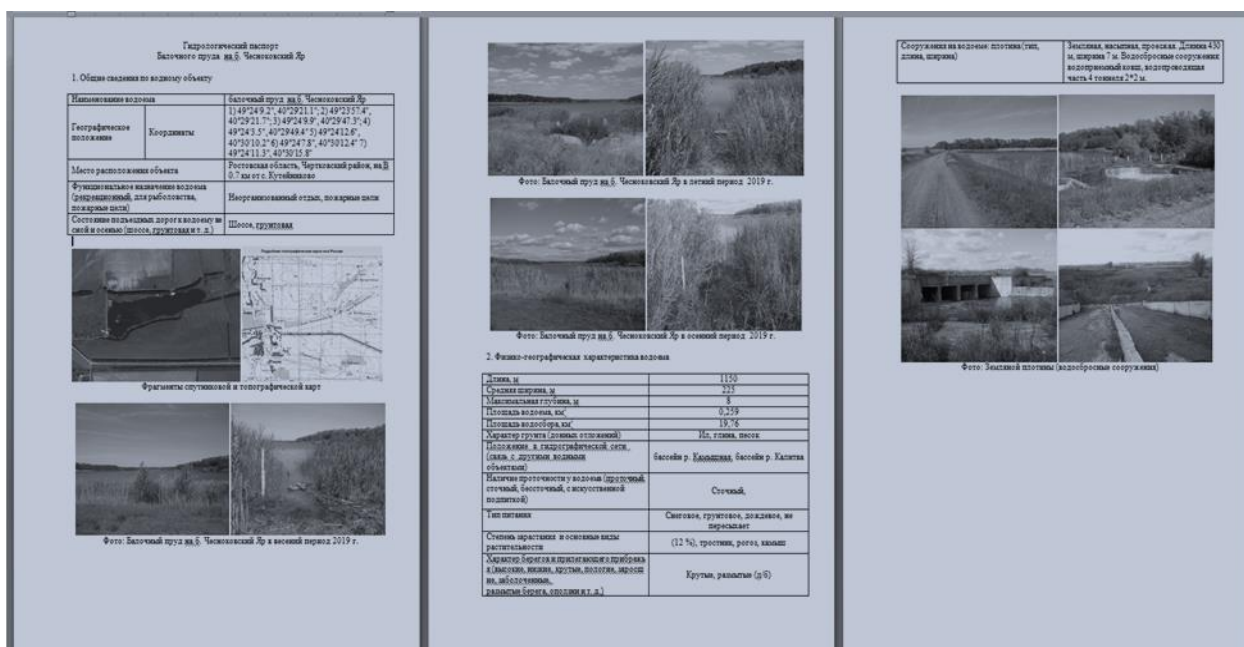


Рисунок 2 – Пример гидрологического паспорта балочного пруда (б.Чесноковый Яр)

В результате проведенных исследований, помимо решения основной задачи, установлен ряд фактов пренебрежительного отношения к окружающей среде. В первую очередь, – это загрязнение прилегающей к водоемам



территории, причем даже на водоемах, расположенных на значительном удалении от населенных пунктов. Рукотворные водоемы восточной и юго-восточной частей области (овцеводческие районы) используются, в основном для водопоя скота, однако в прибрежной части водоемов обнаружены свалки бытовых отходов, устроенные проживающими здесь фермерами.

Не менее плачевное состояние прибрежных зон на водоемах центральной и северной частей региона, где загрязнение прибрежной части территории является результатом рекреационного использования водных объектов.

Обнаруженное разительное отличие природных ландшафтов в бассейнах балок или небольших рек на участках, расположенных ниже созданных прудов и водохранилищ, превращенных в болотистые или высыхающие участки бывших русел, поросшие жесткой растительностью, неудовлетворительное состояние и бесхозность гидротехнических сооружений побуждает нас еще раз поставить вопрос о возможной разблокировке многочисленных земляных перемычек, плотин и дамб с целью возврата водных объектов в естественное состояние и высвобождение водных ресурсов многочисленных прудов и водохранилищ для увеличения стока больших рек, в бассейне которых расположены подобные водные объекты [4].

#### Список литературы

1. ГОСТ 17.1.1.02-77 Охрана природы. Гидросфера. Классификация водных объектов.-Москва, Издательство стандартов, 1978, 33 с.

2. Жукова С.В. К вопросу об изменении политики управления водными ресурсами отдельных водохранилищ в бассейне р. Дон // Научное обеспечение реализации «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 г.». Т. 2. Петрозаводск: Карельский науч. центр РАН, 2015. С. 94-98.

3. Жукова С.В., Подмарева Т.И., Бурлачко Д.С., Фоменко И.Ф., Лутынская Л.А. Барабашин Т.О. Гидрологические критерии типизации водных объектов ростовской области для целей товарной аквакультуры // Интеграция науки и высшего образования, как основа инновационного развития аграрного производства / Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Ярославль: Канцлер, 2019. С.56-58.

4. Жукова С.В., Подмарева Т.И., Косенко Ю.В., Барабашин Т.О., Бурлачко Д.С., Бондарев С.В., Гуськова О.С. Типизация водоемов Ростовской области для целей товарной аквакультуры (по результатам комплексных исследований 2018 г.) // Водоохранилища Российской Федерации: современные экологические проблемы, состояние, управление: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, г. Сочи, 23-29 сентября 2019 г. Новочеркасск: Лик, 2019. С.175-182.

5. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.7. Донской район. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 460 с.

# ПРИРОДНЫЙ ФАКТОР КАК ВОЗМОЖНАЯ ПРИЧИНА ЭКСТРЕМАЛЬНО ВЫСОКИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ИОНОВ МЕДИ В ВОДЕ ПРИТОКОВ РЕКИ КУБАНЬ

Р.С. Комаров<sup>1), 2)</sup>

<sup>1)</sup>*Гидрохимический институт, Ростов-на-Дону, Россия,*

*KomarovRoman128@yandex.ru*

<sup>2)</sup>*Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия*

Медь относится к распространенным элементам земной коры и встречается как в самородном состоянии, так и в виде сульфидов, хлоридов и карбонатов. Большая часть поступающей в окружающую среду меди имеет антропогенное происхождение. Главный источник поступления – производство цветных металлов. Основными природными источниками поступления меди в поверхностные воды являются горные породы и минералы вследствие их химического выветривания [6].

Основными загрязняющими веществами, по которым наблюдаются превышения уровня ПДК во всех реках Краснодарского края, являются тяжёлые металлы, загрязнение которыми характеризуется как устойчивое или характерное.

Кроме того, для всех горных рек Причерноморья характерно устойчивое загрязнение тяжёлыми металлами, в частности медью, железом, цинком и рядом других, что обусловлено естественными аномалиями горных пород молодых гор Кавказа и свидетельствует об отсутствии связи между поступлением тяжёлых металлов и антропогенным воздействием на качество речных вод [3].

Также фиксируются эпизодические аномально высокие разовые концентрации меди в реках Краснодарского края и Республики Адыгея. Так, в реках Большой Зеленчук и Лаба в 2012 г. зафиксирована кратность превышения, составляющая 65-87 ПДК, что характеризуется как экстремально высокий уровень загрязнения воды (ЭВЗ) [4].

В связи с этим, целью исследования является изучение временной изменчивости содержания меди в воде притоков реки Кубань, выявление закономерностей в изменении содержания компонента, сопоставление данных с информацией о расходе взвешенных и влекомых наносов, и расходе воды, а также обоснование предположения о том, что устойчивое загрязнение и экстремально высокие концентрации могут быть обусловлены природными факторами.

Материалами для исследования послужили данные из ежегодников «Качество поверхностных вод Российской Федерации», а также информация Автоматизированной информационной системы государственного мониторинга водных объектов [1, 4].

В таблице приведены данные о кратности превышения ПДК меди в воде некоторых притоков р. Кубань за период с 2010 по 2018 гг.

Таблица – Среднегодовая кратность превышения ПДК меди в воде притоков  
р. Кубань (составлено автором по [4])

Река/Пункт	Период наблюдений, год								
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Река Большой Зеленчук г. Невинномысск	3,5	2	15	3	3	3	3	3	3
Река Лаба г. Лабинск	3-4	2	14-18	1,5-2	2,5-3	3-4	3	3	3-4
Река Лаба х. Догужиев	9	7	5	5,5	4,5	2	4	4	3
Река Белая п. Гузерибль	–	–	7	3	2	2	1,5	1,5	3
Река Белая г. Майкоп	3-7,5	3,5-4	6-7	4,5-5	3	2-3	2,5	2,5	4-4,5
Река Белая а. Адамий	5	10,5	6	3,5	5	3	4,5	4,5	3
Река Пшеха г. Апшеронск	2	3,5-5	7-8	3-6	4-5	1,5-4	1-2	1-2	5
Река Пшиш г. Хадыженск	2,5	3	8	3-3,5	4-6	2	3,5-4	3,5-4	3,5
Река Псекупс г. Горячий Ключ	5-6	3,5-4	5-10	6-10	3-7,5	5	2	2	4-6
Река Афипис ст. Смоленская	6,5	5,5	4	8	5	6	0	0	3
Река Адагум г. Крымск	3,5-5	4-5	6-8	6,5-8	6-7	4-5	2-3	2-3	3-5
Примечание: прочерк означает отсутствие данных									

Содержание соединений меди в воде всех рек многократно превышает ПДК и загрязнение воды данным компонентом является устойчивым и, вероятно, обусловлено природными факторами и явлениями.

Таковыми природными явлениями могут являться оползни, обвалы, селевые потоки и паводки. Так, степень оползневой опасности в Республике Адыгея соответствует следующим значениям: незначительно опасная – 2 %; малоопасная – 2 %; опасная – 35,5 %; весьма опасная – 53,5 %. Для Краснодарского края этот показатель соответствует следующим значениям: незначительно опасная – 33 %; малоопасная – 19,5 %; умеренно опасная – 3 %; опасная – 16 %; весьма опасная – 25,5 %; чрезвычайно опасная – 3 % [2].

В связи с этим было решено проверить существование зависимости изменения концентрации меди от расхода взвешенных и влекаемых наносов в воде р. Белая в пункте наблюдения, расположенном в п. Гузерибль (Республика Адыгея). Такой выбор связан с тем, что для данного пункта имеются наиболее полные данные о расходах воды и расходах взвешенных и влекаемых наносов.

На рисунке 1 приведена динамика изменения расходов воды, взвешенных и влекомых наносов в р. Белая, в пункте наблюдения, расположенном близ п. Гузерипль.

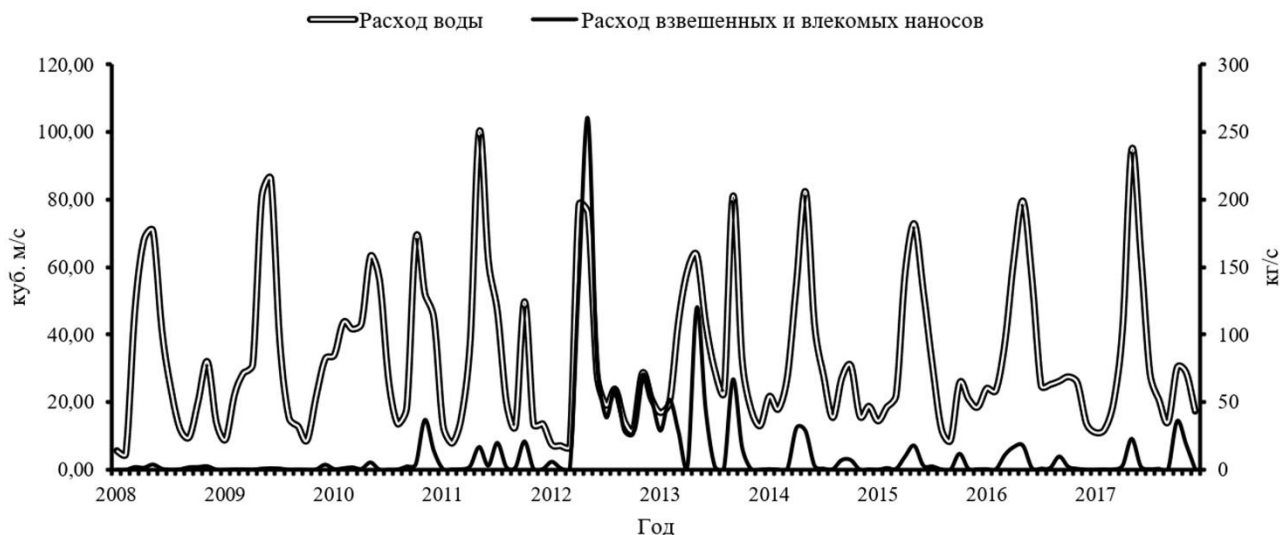


Рисунок 1 – Динамика изменения расходов воды, взвешенных и влекомых наносов в р. Белая, п. Гузерипль (составлено автором по [1])

Анализ представленных данных показал, что наблюдаются пики расхода воды в теплые месяцы года, что может быть обусловлено таянием ледников, снега и увеличением количества осадков. Также зафиксирован большой пик расхода взвешенных и влекомых наносов в начале 2012 г. – показатель составляет 260 кг/с – наличие такого пика может быть обусловлено оползнем, сошедшим в конце 2011 г. в районе р. Мутный Тепляк, которая является притоком второго порядка р. Белая. Ориентировочная ширина оползня составила 800-850 м, длина – около 1 км. Обрушившиеся массы грунта перекрыли русло реки Мутный Тепляк [5]. После этого оползня органолептические свойства воды в реках Малый Тепляк, Армянки и Белой ухудшились.

Далее была предпринята попытка соотнести данные по расходу взвешенных и влекомых наносов с концентрацией меди в воде р. Белая (рисунок 2).

При сопоставлении динамики изменения среднегодового расхода взвешенных и влекомых наносов с изменением концентрации меди в воде заметна корреляция между этими двумя показателями. Это обусловлено природными явлениями, связанными с попаданием грунтов в речные воды при обвалах, оползнях, селях и др., что может приводить к значительному увеличению концентрации меди и других веществ в воде. Однако судить о природном характере высокого содержания меди в воде для всех притоков р. Кубань, опираясь только на данные по одному водному объекту было бы

некорректно. К сожалению, имеющиеся данные по другим рекам Кубанского бассейна фрагментарны.

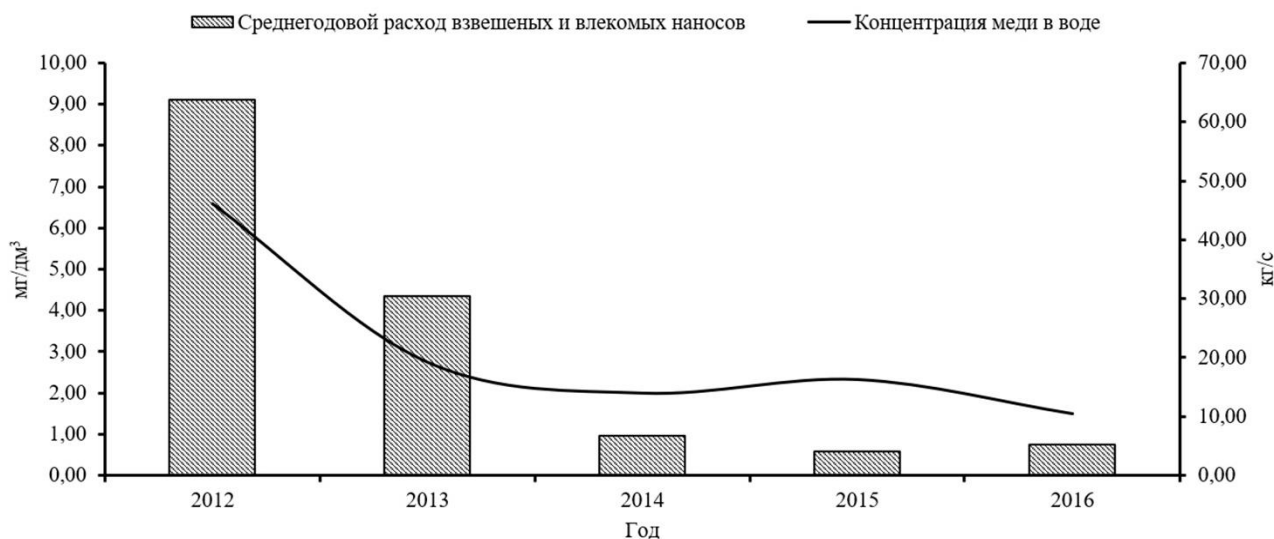


Рисунок 2 – Динамика изменения среднегодового расхода взвешенных и влекомых наносов, и концентрации меди в воде р. Белая, пос. Гузерипль (составлено автором по [1])

При сопоставлении данных по динамике изменения расходов воды, взвешенных и влекомых наносов с показателями кратности превышения ПДК Cu за 2014-2017 гг., выявляется зависимость концентрации меди от расхода взвешенных и влекомых наносов. Для того чтобы в данном случае говорить о прямой зависимости между концентрацией меди и природными явлениями, необходимо проводить более комплексные исследования, опирающиеся на больший массив данных за более длительный период.

Таким образом, стабильно высокие концентрации меди в воде притоков р. Кубань, вероятно, связаны с природными факторами, в первую очередь, с почвами и горными породами. Эпизодически фиксируемые случаи ЭВЗ воды соединениям меди (превышающие ПДК в 50 раз и более), могут быть обусловлены попаданием в воду большого количества грунта с селевыми или оползневыми потоками. Полученные результаты могут быть использованы при изучении формирования химического состава воды в бассейне р. Кубань, а также при решении природоохранных задач.

#### Список литературы

1. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов [Электронный ресурс]. URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (Дата обращения 10.06.2020).
2. Бабурин В.Л., Данилина А.В., Гаврилова С.А., Грязнова В.В., Шныпарков А.Л. Оползневой риск на Северном Кавказе // Снежные лавины, сели и оценка риска. Вып. 3. М.: Изд-во «Перо», 2014. С. 41-49.

3. Доклад «О состоянии природопользования и об охране окружающей среды Краснодарского края в 2018 г.» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.dprgek.ru/content/section/470/detail/1177> (Дата обращения 10.06.2020).
4. Ежегодники «Качество поверхностных вод Российской Федерации». Ростов-на-Дону, 2011-2019 гг.
5. Кориневич Л.А. Развитие опасных геологических процессов в верховьях р. Мутный Тепляк в 2012 году // Прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий / Майкоп: Издательство «Магарин Олег Григорьевич», 2013. С. 112-120.
6. Мур Дж., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах. М.: Мир, 1987. 286 с.

## О ПРИРОДООХРАННЫХ НОРМАТИВАХ, РАЗРАБОТАННЫХ ДЛЯ ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

В.Н. Кузьмич<sup>1)</sup>, Л.С. Пономарева<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> АНО Национальное информационное агентство «Природные ресурсы»,  
Москва, Россия, *kvnpriroda@mail.ru*

<sup>2)</sup> ФБУ «Федеральный центр анализа и оценки техногенного воздействия»  
Росприроднадзора, Москва, Россия, *lsponom@gmail.ru*

Проект природоохранных нормативов для химических показателей оценки состояния поверхностных водных объектов (рек, озер, водохранилищ) разработан в рамках НИР «Разработка системы природоохранного нормирования качества поверхностных вод» ФЦП «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012-2020 годах». Принят НТС Минприроды России, рекомендован к применению НТС Центрального управления рыбохозяйственной экспертизы Росрыболовства (ФГБУ «ЦУРЭН»).

Установление природоохранных нормативов для химических показателей направлено на достижение уровня концентраций в природной воде для искусственных синтетических веществ равной нулю, для веществ естественно встречающихся в окружающей среде – близких к естественному фону.

В основу проекта положены рыбохозяйственные нормативы ПДК (далее – ПДК<sub>рх</sub>), применение которых в большей мере отвечает требованиям в области охраны окружающей среды в отличие от гигиенических нормативов, и которые направлены на обеспечение сохранения рыб, водных млекопитающих, беспозвоночных, растений, других водных биологических ресурсов, как отдельных элементов естественной водной экосистемы.

Действующий перечень ПДК<sub>рх</sub> включает более 1070 показателей, в котором более 1020 наименований относятся к веществам, соединениям, смесям искусственного происхождения [1, 2]. Все нормативы ПДК<sub>рх</sub> веществ установлены на основании результатов лабораторных испытаний методами биотестирования на изолированных популяциях культивируемых тест-объектов [3]. Такой подход неприемлем для веществ природного происхождения, величина норматива которых определяется природными концентрациями [4]. В связи с этим, оценка загрязненности поверхностных вод по показателю кратности превышения нормативов ПДК<sub>рх</sub> не всегда отражает реальную ситуацию.

Рыбохозяйственный перечень ПДК<sub>рх</sub> сокращен вдвое, из списка исключены показатели смесей не установленного состава, которые нельзя измерить методами химического анализа, товары и вещества, не существующие в воде водного объекта, инертные и нерастворимые вещества и др. (251 наименование), и показатели неорганических веществ, которые растворяются/диссоциируют в воде (64 наименования) [5]. Выделены в справочный раздел препараты, отсутствующие в государственном каталоге

пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории страны по данным за 2013 г., и 290 органических веществ, постоянное поступление которых в водные объекты маловероятно, исключая аварийные ситуации.

Определены приоритетные химические показатели, характеризующие естественное состояние пресноводных экосистем с учетом природного фона (далее – нормативы) [6]. Список показателей составлен в соответствии с требованиями современного природоохранного законодательства и положениями директив Европейского Союза [6, 7], учтен «Перечень загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды» [8].

Список состоит из 248 обязательных нормируемых показателей, включая 72 наименования органических веществ искусственного происхождения, уровень содержания которых в воде водного объекта не оказывает негативное влияние на состояние экосистемы, и 55 неорганических веществ природного происхождения. Нормативы ПДК приоритетных искусственных органических веществ и отдельных металлов разделены на 4 группы по классам опасности [3], для веществ 1-2 классов опасности введен показатель «отсутствие».

Для каждого бассейнового округа проведена систематизация, анализ и обобщение информации, характеризующая региональную естественную неоднородность химического состава вод, и определен перечень веществ, рекомендуемых для пересмотра нормативов ПДКрх [4]. Показано, что природные концентрации веществ в водных объектах существенно отличаются от нормативов ПДКрх, мг/дм<sup>3</sup>. Так, в реках и озерах концентрации марганца могут колебаться от 0,01 до 2,1 мг/дм<sup>3</sup> (ПДКрх 0,01), меди – от 0,003 до 0,05 мг/дм<sup>3</sup> (ПДКрх 0,01), железа общего – от 0,02 до 4,6 мг/дм<sup>3</sup> (ПДКрх 0,01), фенолы от 0,003 до 0,005 мг/дм<sup>3</sup> (ПДКрх 0,001) и др. [4].

Структура показателей неорганических веществ природного происхождения приведена в соответствии с гидрохимической классификацией веществ. Для главных ионов (Ca, Na, Mg, Cl, SO<sub>4</sub>) показано, что нормативы устанавливаются в соответствии с классами минерализации воды [9]. Так, нормируемая концентрация сульфат-аниона определяется показателем «не более верхнего предела природного диапазона» или 10 мг/дм<sup>3</sup> при минерализации ≤100 мг/дм<sup>3</sup>, или 60-100 мг/дм<sup>3</sup> при минерализации от 500 до 1000 мг/дм<sup>3</sup>. Для микроэлементов величина ПДК устанавливается в зависимости от жесткости воды, CaCO<sub>3</sub> мг/дм<sup>3</sup> [9]. Для меди растворенной, Cu, при жесткости воды 10 мг/дм<sup>3</sup> норматив – 0,005 мг/дм<sup>3</sup>, при жесткости воды 300 мг/дм<sup>3</sup> норматив – 0,112 мг/дм<sup>3</sup>. Для никеля растворенного Ni, при жесткости воды < 60 мг/дм<sup>3</sup> норматив – 0,025 мг/дм<sup>3</sup>, при > 180 мг/дм<sup>3</sup> норматив – 0,15 мг/дм<sup>3</sup>. Жесткость воды учитывается при определении токсичности тяжелых металлов в расчетах допустимого сброса загрязняющих веществ в водный объект.

Биогенные вещества дополнены показателями «азот общий» и «фосфор общий» с целью учета органической компоненты в составе биогенных веществ [7], что повышает достоверность оценки загрязнения вод, а также



эффективность очистки сточных вод. Так, норматив  $R_{\text{общ}}$  определяется как «не более верхнего предела природного диапазона» или в пределах  $0,2 - 0,4 \text{ мг/дм}^3$ . Норматив  $N_{\text{общ}}$  также как «не более верхнего предела природного диапазона» или в соответствии с трофическим статусом водного объекта. Так, норматив  $N_{\text{общ}}$  установлен в пределах  $0,3-0,7 \text{ мг/дм}^3$  для олиготрофного водного объекта,  $0,7-1,3 \text{ мг/дм}^3$  для мезотрофного, и  $0,8-2,5 \text{ мг/дм}^3$  для эвтрофного водного объекта [6, 7]. Или, например, норматив для азота нитритов,  $N\text{-NO}_2 \text{ мг/дм}^3$ : «не более верхнего предела природного диапазона» или  $\leq 0,001 \text{ мг/дм}^3$ , для олиготрофного  $\leq 0,01 \text{ мг/дм}^3$ , мезотрофного и  $\leq 0,02 \text{ мг/дм}^3$  эвтрофного водного объекта.

Для взвешенных веществ установлены следующие показатели:  $\leq 10 \text{ мг/дм}^3$  – для обитания особо ценных и ценных видов рыб,  $\leq 25 \text{ мг/дм}^3$  – для обитания прочих видов рыб [7], вместо рыбохозяйственного показателя допустимого приращения взвешенных веществ при сбросе сточных вод [1, 2].

Из общих показателей для нормирования органических веществ введен показатель БПК<sub>5</sub>  $\leq 3 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$  – величина, допустимая для обитания особо ценных и ценных видов рыб (или естественный диапазон), БПК<sub>5</sub>  $\leq 6$  – для обитания прочих видов рыб. Для показателя ХПК<sub>бихром</sub>  $\leq 30 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$  или «не более верхнего предела природного диапазона».

В общие показатели включены фенолы летучие – алкилфенолы, ПДК  $0,01 \text{ мг/дм}^3$ ; и АОХ (показатель, характеризующий суммарное количество галогенорганических соединений в воде, которые сорбируются активированным углем) – ПДК «отсутствие» или  $\leq 0,01 \text{ мг/дм}^3$  нижний предел определения [6].

Из списка исключен лимитирующий показатель вредности (ЛПВ), виду отсутствия научно-обоснованных данных, подтверждающих, например, эффект синергизма веществ в воде водного объекта, прежде всего 1-2 классов опасности с одинаковым ЛПВ – «токсичность», при сбросе сточных вод.

В отдельную группу выделены ПДК для 100 действующих веществ пестицидов, включенных в государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации в 2013 г. Следует отметить, что в «Перечне загрязняющих веществ, подлежащих государственному регулированию» [8], содержатся только 5 разрешенных к применению пестицидов, то есть, пестициды, не попавшие в Перечень, не учитываются как загрязняющие вещества.

Каждый показатель имеет наименование, идентификационный признак (код CAS), величину ПДК, метод выполнения измерений (МИ). Так, анилинаминобензол: CAS № 62-53-3, ПДК  $0,0001 \text{ мг/дм}^3$ , источник [5], МИ – ПНД Ф 14.1:2:4.70-96, метод ВЭЖХ. Или дихлорбензол (смесь изомеров): CAS № 25321-22-6, ПДК  $0,001 \text{ мг/дм}^3$ , источник [1, 2], МИ – «прочерк», то есть метод отсутствует. Например, из 72-х показателей органических веществ только 49 обеспечены методами выполнения измерений.

Разработан порядок составления и актуализации перечня экологически опасных веществ в воде поверхностных водных объектов, направленный на

организацию информирования органов государственного контроля за применением опасных веществ на территории Российской Федерации и поступлением их в водные объекты [10].

Таким образом, на основании проведенных исследований предлагается отказаться от ведомственного монополизма и разобщенности в установлении нормативов качества вод и принять нормативы в области охраны окружающей среды (природоохранные нормативы), в данном случае для химических показателей, с учетом природных особенностей водных объектов, для оценки их состояния в целях сохранения естественных водных экосистем, рационального использования водных биологических ресурсов, водных ресурсов, и применения в системе мер государственного регулирования в области охраны окружающей среды.

#### Список литературы

1. Приказ Росрыболовства от 18.01.2010 №20 Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения.

2. Приказ Минсельхоз России от 13.12.2016 № 552 Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения.

3. 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 (утв. Приказом Росрыболовства от 04.08.2009 № 695).

4. Янин Е.П., Кузьмич В.Н., Иваницкий О.М. Региональная природная неоднородность химического состава поверхностных вод суши и необходимость ее учета при оценках их экологического состояния и интенсивности техногенного загрязнения // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 2016. № 6. С. 3–72.

5. Пономарева Л.С. Приоритетные физико-химические показатели качества воды поверхностных водных объектов, характеризующие естественное состояние пресноводных экосистем / Химические вещества. Окружающая среда. Здоровье: справочное пособие / Под ред. Н.Ф. Измерова. - М.: Изд-во «Группа компаний Издательства технической литературы», 2016. - С. 179-218.

6. Директива Европейского парламента и Совета Европейского Союза № 2000/60/ЕС от 23 октября 2000 года в области водной политики, Приложение X, Список приоритетных веществ.

7. Директива Европейского парламента и Совета Европейского Союза № 2006/44/ЕС о качестве пресных водоемов, нуждающихся в защите с целью обеспечения нормальных условий обитания рыб.

8. Перечень загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды», утвержденного распоряжением Правительства Российской Федерации от 08.07.2015 г. № 1316-р.

9. ГОСТ 17.1.2. 04-77«Охрана природы. Гидросфера. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов».

10. Пономарева Л.С., Кузьмич В.Н. О порядке составления и актуализации перечня экологически опасных веществ, поступающих в поверхностные водные объекты // Бюллетень. Использование и охрана природных ресурсов в России. 2016. №2 (146). С.17-21.

# МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ УРОВНЯ СОДЕРЖАНИЯ СОЕДИНЕНИЙ МОЛИБДЕНА И МАРГАНЦА В РЕКЕ МАЛКА

А.С. Отарова

*Высокогорный геофизический институт, Нальчик, Россия, vgikbr@yandex.ru*

Малые реки являются начальными звеньями гидрологической сети, формирующими более крупные водотоки, они выполняют функцию регулятора водного режима ландшафтов, поддерживая водный баланс и перераспределяя влагу, определяют гидрологическую и гидрохимическую специфику средних и крупных рек [1]. Река Малка – главный левый приток Терека, истоки которой находятся на северных склонах Эльбруса. В верховьях Малка – бурная горная река, принимающая множество притоков (26), среди которых наиболее крупными являются Мушта, Кичмалка и Шау-Кол. Питание реки в основном смешанное. Длина реки 210 км, площадь бассейна 10 тысяч км<sup>2</sup> [2].

Одна из основных особенностей реки Малка, как малой реки – тесная связь формирования стока с ландшафтом бассейна. Все природные и антропогенные процессы, происходящие в русле, изменяются в различных сочетаниях, отражаясь на степени загрязнения воды. Поэтому изучение изменчивости уровня содержания соединений некоторых металлов, таких как молибден и марганец в воде предгорной и устьевой зонах течения реки Малка, представляет определенный интерес.

В данной статье представлены результаты определения концентраций соединений молибдена и марганца в воде реки Малка в предгорье и устьевой зоне в основные фазы водного режима. Мониторинг проводился с 2005 по 2019 год.

Отбор проб проводился по основному руслу в предгорной зоне на 88 км от истока (с. Сармаково) и в устьевой зоне на 190 км (г. Прохладный) в зимнюю межень и летний дождевой паводок.

Измерения концентраций соединений тяжелых металлов проводились методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС) с применением электротермической атомизации с использованием спектрометра «МГА-915М» [3].

Полученные результаты представлены в таблице 1 и на рисунках 1-2.

Таблица 1 – Среднемноголетние данные об уровнях содержания соединений молибдена и марганца (мкг/л) в воде реки Малка за 2005-2019 годы в предгорной зоне

Ингредиент	Зимняя межень				Дождевой паводок			
	X <sub>ср</sub>	X <sub>50</sub>	X <sub>мин</sub> -X <sub>макс</sub>	N	X <sub>ср</sub>	X <sub>50</sub>	X <sub>мин</sub> -X <sub>макс</sub>	N
	р. Малка							
<b>Mo</b>	0,24	0,10	0,1-1,10	15	0,31	0,28	0,1-0,64	15
<b>Mn</b>	3,33	0,31	0,1-31,96	15	8,62	3,73	0,1-47,83	15

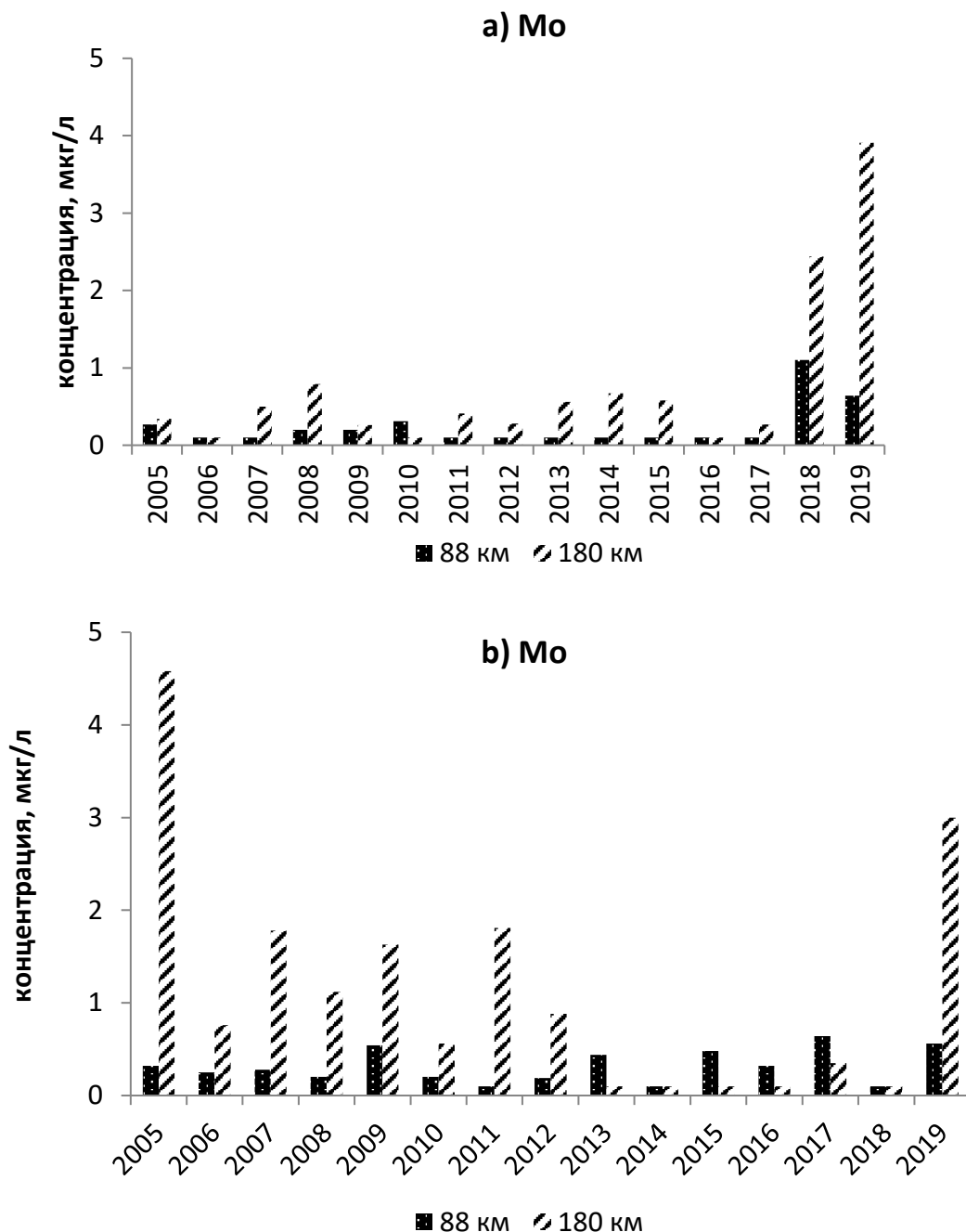


Рисунок 1 – Многолетняя изменчивость концентраций соединений молибдена в воде р. Малка в зимнюю межень (а), летний дождевой паводок (b).

Таблица 2 – Среднемноголетние данные об уровнях содержания соединений молибдена и марганца (мкг/л) в воде реки Малка за 2005-2019 годы в устьевой зоне

Ингредиент	Зимняя межень				Дождевой паводок			
	X <sub>ср</sub>	X <sub>50</sub>	X <sub>мин</sub> -X <sub>макс</sub>	N	X <sub>ср</sub>	X <sub>50</sub>	X <sub>мин</sub> -X <sub>макс</sub>	N
	р. Малка							
<b>Mo</b>	0,75	0,38	0,10-3,91	15	1,13	0,66	0,10-4,58	15
<b>Mn</b>	4,22	0,48	0,10-31,38	15	11,72	4,49	0,1-69,35	15

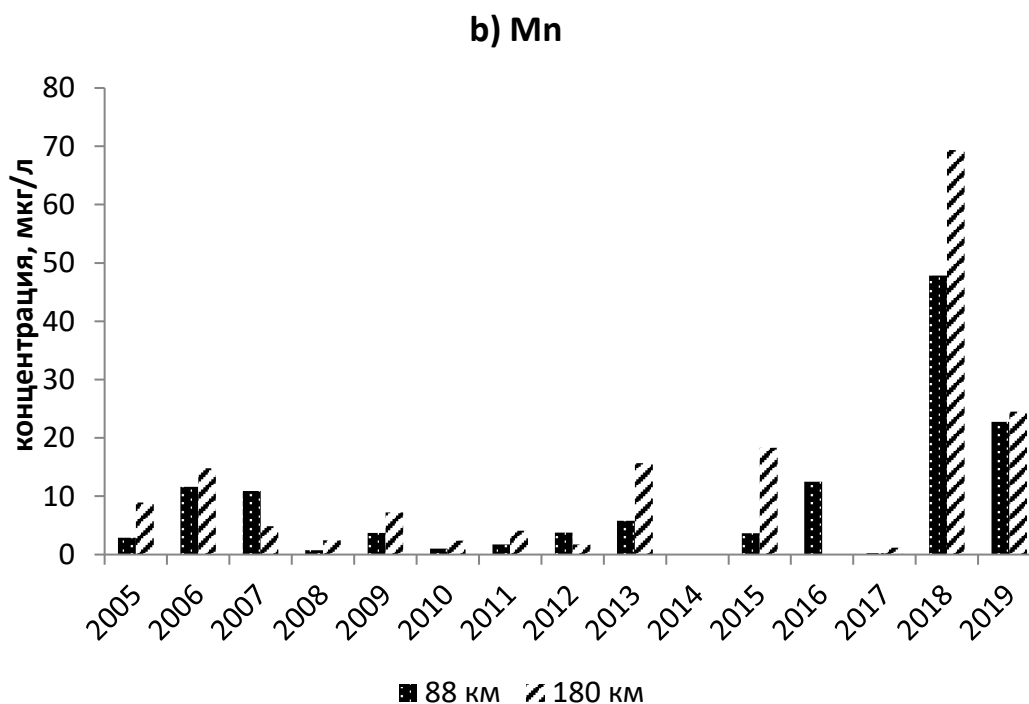
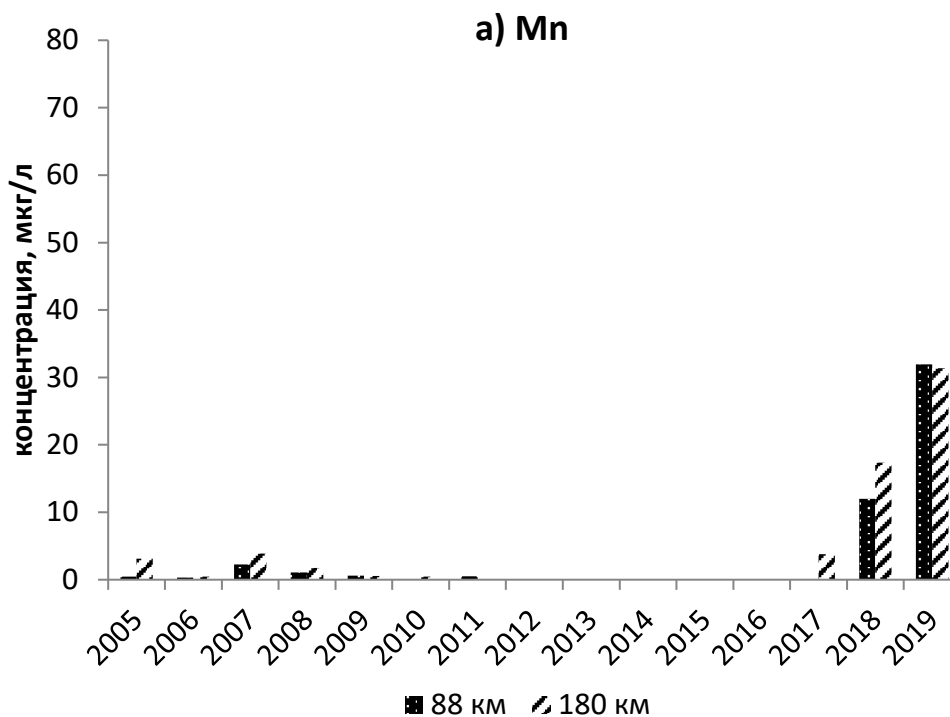


Рисунок 2 – Многолетняя изменчивость концентраций соединений марганца в воде р. Малка в зимнюю межень (а), летний дождевой паводок (б).

Диапазон колебаний концентраций соединений тяжелых металлов – Мо и Мп различен не только по фазам водного режима, но и по зонам течения реки. Как видно из таблиц 1 и 2 диапазон колебаний концентраций соединений Мо в предгорной зоне ниже, чем в устьевой зоне, а в летний дождевой паводок этот показатель значительно выше в устьевой зоне.

Диапазон колебаний концентраций соединений Мп в предгорной зоне в летний дождевой паводок ниже, чем в устьевой, в зимнюю межень размах

колебаний в предгорной зоне почти такой же, как и в летний дождевой паводок. Размах колебаний ряда дает первое общее представление о различии показателей внутри совокупности.

Полученные результаты показывают, что уровень содержания соединений Мо и Мп в летний дождевой паводок выше, чем в зимнюю межень. Такая закономерность характерна как для предгорной зоны течения реки, так и для устьевой зоны.

Случаев превышения ПДК<sub>рх</sub> для соединений Мо в предгорье в зимнюю межень за многолетие выявлено 1 раз (1,1 ПДК<sub>рх</sub>), в устьевой зоне – 2 (2,44 ПДК<sub>рх</sub> и 3,91 ПДК<sub>рх</sub> соответственно). В летний дождевой паводок в предгорье не наблюдается превышений ПДК<sub>рх</sub> по соединениям Мо, но в устьевой зоне зафиксировано 6 случаев превышения ПДК<sub>рх</sub> (от 1,12 до 4,58 ПДК<sub>рх</sub>).

Максимальное содержание Мп в воде р. Малка отмечено в обе фазы водного режима в предгорье и устьевой зоне в 2018 и 2019 гг. и составило от 1,2 до 3,2 ПДК<sub>рх</sub> в зимнюю межень и от 2,27 до 6,9 ПДК<sub>рх</sub> в дождевой паводок. Можно отметить, что за последние два года уровень содержания соединений Мп в воде р. Малка повысился.

Таким образом, результаты анализа данных за период 2005-2019 гг. в воде реки Малка в предгорье и устьевой зоне показывают увеличение концентраций исследуемых соединений тяжелых металлов в устьевой зоне.

#### Список литературы

1. Газаев Х-М.М., Атабиева Ф.А., Кучменова И.И., Жинжакова Л.З. Пространственно-временная изменчивость гидрохимических показателей ледниковой реки Чегем // Водное хозяйство России. 2015. № 4. С. 37-44.
2. Малка // Большая советская энциклопедия: [в 30 т.] / гл. ред. А.М. Прохоров. 3-е изд. М.: Советская энциклопедия, 1969-1978.
3. Методика выполнения измерений массовых концентраций Al, Ba, Be, V, Fe, Cd, Co, Li, Mn, Cu, Mo, As, Ni, Sn, Pb, Se, Sr, Ti, Cr, Zn в природных и сточных водах методом атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием атомно-абсорбционного спектрометра с электротермической атомизацией «МГА-915». ПНД Ф 14.1:2.253-09. Москва. 2009.

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕР В ОКРЕСТНОСТИ С. ГЫДА, ТАЗОВСКОГО РАЙОНА ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА

А.С. Печкин, Е.В. Агбальян, Е.В. Шинкарук, А.С. Красненко,  
*ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики», Надым*  
a.pechkin.ncia@gmail.com, agbelena@yandex.ru, elena1608197@yandex.ru,  
aleks-krasnenko@yandex.ru

Гыданский полуостров является территорией активного освоения месторождений углеводородного сырья. Разведка и добыча углеводородов требует проведения экологического мониторинга, направленного на контроль влияния деятельности человека на природную среду. Для оценки текущего состояния водных экосистем и изменений, происходящих в результате различной деятельности человека, были использованы данные гидрологического мониторинга.

Донные отложения накапливают информацию о химических загрязнениях, присутствующих в воде, и являются средой обитания, источником питания для широкого круга пресноводных организмов, многие из которых употребляются в пищу человеком. Загрязняющие вещества аккумулируются донными отложениями, и затем попадают в водные организмы в результате их жизнедеятельности. Биоаккумуляция и переход загрязняющих веществ по пищевым цепям представляют собой сложные процессы, на которые влияют геохимические особенности окружающей среды, а также физиологические и биохимические особенности организма [4, 7].

Цель настоящей работы заключалась в оценке уровня техногенного загрязнения донных отложений озер, расположенных в окрестностях с. Гыда Тазовского района Ямало-Ненецкого автономного округа.

*Объекты и методы исследования.* Пробы донных отложений отбирались в 2019 году на научном полигоне Гыданский в рамках НИР «Комплексный экологический мониторинг территории исконного проживания коренного малочисленного населения Ямало-Ненецкого автономного округа». Обследованные водные объекты расположены в бассейне Гыданской губы в подзоне арктических тундр: озеро без названия № 1 (точка Д-01) и озеро Лептата (точка Д-02), озеро Банное (точка Д-03), озеро без название № 4 (точка Д-04), озеро без названия № 5, расположено в зоне влияния с. Гыда (точка Д-05) (рисунок). Пробы донных отложений отбирали в соответствии с ГОСТом [3] донным скребком с захватом 1/4 м<sup>2</sup>. Содержание тяжелых металлов и мышьяка в пробах определяли методом рентгено-флуоресцентного энергодисперсионного анализа (РФАЭД) на спектрометре БРА 135-f (АО НПП «Буревестник», г. Санкт-Петербург).



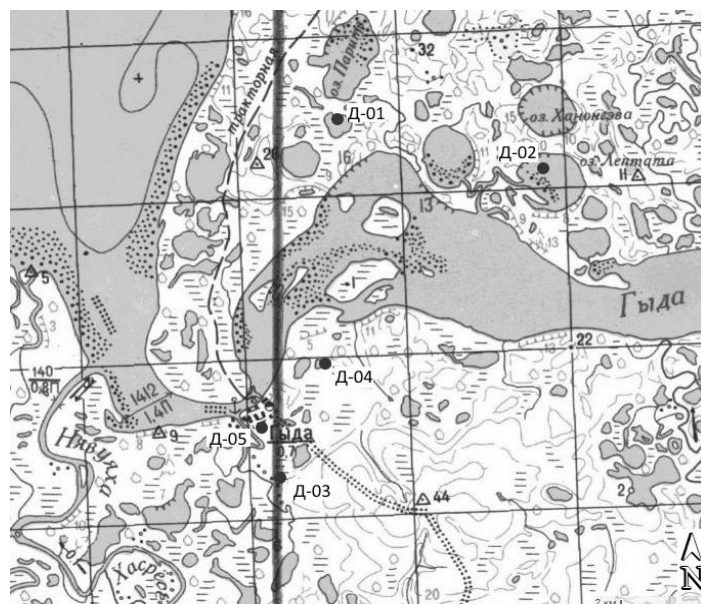


Рисунок – Точки отбора проб донных отложений

Для оценки степени загрязнения донных отложений использовался суммарный показатель загрязнения  $Z_c$ , предложенный Ю. Е. Саеом с соавторами [6] и представляющий собой аддитивную сумму превышений коэффициентов концентраций токсичных элементов над фоновым уровнем:

$$Z_c = \sum_i^n K_c - (n - 1)$$

где  $K_c$  – коэффициент концентрации  $i$ -го компонента;  $n$  – число определяемых суммируемых химических веществ.

$K_c$  определяется отношением фактического содержания определяемого вещества в почве ( $C_i$ ) в мг/кг почвы к региональному фоновому ( $C_{\phi i}$ ):

$$K_c = C_i / C_{\phi i}$$

В таблице 1 приведена ориентировочная шкала оценки загрязнения водных систем по величине  $Z_c$  в донных отложениях.

Таблица 1 – Ориентировочная шкала оценки загрязнения водных объектов [9]

Уровень загрязнения	$Z_c$	Содержание токсичных элементов
Слабый	Менее 10	Слабо повышенные относительно фона
Средний	10-30	Повышенные относительно фона; эпизодического превышение ПДК
Сильный	30-100	Во много раз выше фона; стабильные превышения отдельными элементами уровней ПДК
Очень сильный	Более 100	Практически постоянное присутствие многих элементов в концентрациях выше ПДК

*Результаты и их обсуждение.* Концентрации тяжёлых металлов в донных отложениях открытых природных водоемов окрестностей с. Гыда представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Концентрации тяжёлых металлов и As (мг/кг) в донных отложениях водоемов окрестностей с. Гыда

№ пробы	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	As	Y	Nb
Д-01	12450,99	47,64	118,99	469,81	10712,62	1,55	6,65	<2	8,84	10,18	20,14	26,84	23,47
Д-02	8645,00	114,04	101,96	954,80	56627,80	15,67	48,76	25,28	66,23	12,18	26,04	20,41	8,45
Д-03	7492,12	53,07	86,38	546,56	24279,61	9,26	23,61	8,11	22,72	9,62	18,96	21,66	16,55
Д-04	6508,85	30,64	78,59	349,53	13590,07	1,99	3,83	<2	<6	6,47	21,32	17,37	16,76
Д-05	5959,05	16,60	86,14	248,00	5805,36	1,88	0,43	<2	<6	5,82	18,69	18,57	19,54
Фон тундровой зоны*	6000	51,9	37,8	460	20600	6,7	14,2	9,4	29,8	7,2	2,9	11,4	7,5
Кларк**	4500	90	83	1000	46500	18,0	58,0	47,0	83,0	19,0	17,0	29,0	20,0

Примечание: \* - фоновые значения [6], \*\* Кларки элементов в земной коре [1].

Сравнивая полученные данные с фоновыми показателями тундровой зоны ЯНАО, во всех изученных пробах выявляются превышения содержаний Ti, Cr, As, Y, Nb и пробах Д-02 и Д-03 установлены превышения V, Fe, Co, Ni, Mn и Ga, в пробе Д-01 – Mn и Ga. Максимальные превышения As выявлены в пробе Д-04.

Результаты сравнения содержаний элементов в опробованных донных отложениях с кларками элементов в земной коре показывают, что особенность химического состава изученных проб выражается в накоплении Ti, Cr, As. Максимальные превышения выявлены в пробах по Ti (до 2,8 раз для Д-01).

Суммарный показатель загрязнения донных отложений колеблется от минимального значения для озера б/н №5 ( $Z_c=5$ ) до максимального показателя для озера Лептата ( $Z_c=23$ ) (таблица 3). Донные отложения Д-04 и Д-05 относятся к слабозагрязненным, остальные пробы донных отложений характеризуются средним уровнем загрязнения.

Содержание в донных отложениях Ti, Cr, As превышает фоновые уровни и соответствующие кларки. Следует выделить мышьяк, который относится к первому классу опасности и хром – ко второму классу. Asi Cr являются сидерофилами и проявляют сродство к Fe. As и Cr чувствительны к изменению редокс – условий. Известно, мышьяк концентрируется в железо-марганцевых ортштейнах, где его содержание достигает 480-670 мг/кг [2]. Концентрации данных элементов в опробованных донных отложениях находятся ниже уровней известных нормативов, разработанных в г. Санкт-Петербурге, которые

Таблица 3 – Суммарный показатель химического загрязнения донных отложений

№ п/п	Индекс проб донных отложений	Суммарный показатель химического загрязнения ( $Z_c$ )	Уровень загрязнения
1	Д-01	11	средний
2	Д-02	23	средний
3	Д-03	12	средний
4	Д-04	6	слабый
5	Д-05	5	слабый

позволяют оценить степени загрязнения донных отложений водных объектов ( $ПДК_{As}=55$  мг/кг,  $ПДК_{Cr}=380$  мг/кг) [8]. Ti – элемент, который широко распространен в земной коре и ассоциируется с силикатными минералами [5].

Ближайшие перспективы развития Тазовского района и села Гыда тесно связаны с освоением месторождений природного газа. На сегодняшний день на Гыдане разведаны 13 месторождений, 4 из которых находятся в северной части полуострова, а газоконденсатное месторождение Ладертойское находится в непосредственной близости к селу. Степень будущего техногенного и антропогенного влияния можно сравнить с данными до начала крупного освоения, в том числе и содержание ТМ в донных отложениях.

В условиях антропогенного загрязнения отмечается увеличение интенсивности вовлечения ТМ в биологический круговорот. Изученные водные объекты на условно фоновых и антропогенно загрязненных участках активно аккумулируют основные металлы в донных отложениях. Возможные пути миграции и накопления ТМ на территории исследования: ТЭК ↔ трансграничный перенос → атмосферный воздух → почвы ↔ растительность → поверхностные воды → донные отложения.

Заключение. В донных отложениях водных объектов, расположенных на севере Гыданского полуострова в окрестностях с. Гыда определено содержание тяжелых металлов и As. Максимальные концентрации установлены для Ti и Fe, что характерно для песчаных пород. Содержания Ti, Cr и As превышают фоновые уровни и соответствующие кларки. В соответствии с суммарным показателем загрязнения, опробованные донные отложения характеризуются слабым и средним уровнем загрязнения. Максимальное значение  $Z_c$  характерно для озера Лептата и соответствует среднему уровню загрязнения донных отложений.

#### Список литературы

1. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. №7. С. 555-571.

2. Водяницкий Ю.Н., Васильев А.А., Власов М.Н., Коровушкин В.В. Роль Fe в закреплении тяжелых металлов и As в аллювиальных и подзолистых почвах в районе г. Пермь // Почвоведение. 2009. №7. С. 792-803.
3. ГОСТ 17.1.5.01-80 Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность (с Изменением N 1) // 1982 г. Определитель пресноводных беспозвоночных.
4. Даувальтер В.А. Геоэкология донных отложений озер. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2012. 242 с.
5. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях/ пер. с англ. М.: Мир, 1989. 439 с.
6. Кремлёва Т.А., Южанина А.А. Влияние генезиса малых озер Надымского района на химический состав вод и экологическое состояние. Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах / Материалы III Международной школы-семинара молодых исследователей. Под ред. В.А. Боева, А.И. Сысо, В.Ю. Хорошавина. Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2018. 206-212.
7. Моисеенко Т.И. Теоретические основы нормирования антропогенных нагрузок на водоёмы Субарктики. Апатиты: Изд-во КНЦ, 1997. 261 с.
8. Нормативы и критерии оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга: региональный норматив. СПб.: Ленморниипроект, 1996. 17 с.
9. Саэт, Ю. Е. Геохимия окружающей среды / Ю. Е. Саэт, Б. А. Ревич, Е. П., Янин [и др.]. М.: Недра, 1990. 335 с.

## АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД КУРОРТОВ РЕГИОНА КАВКАЗСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД

И.С. Помеляйко

*Северо-Кавказский федеральный университет, Пятигорск,  
i.pomelyayko@yandex.ru*

Конурбация Кавказские Минеральные Воды (КМВ), включающая 4 курорта федерального значения, имеет статус особо охраняемого эколого-курортного региона РФ. Подобный статус предполагает минимальную антропо-техногенную нагрузку на природные среды и, как следствие, их чистоту и отсутствие химических и микробиологических загрязнителей. С целью подтвердить либо опровергнуть данное предположение в период с 2000 по 2018 гг. осуществлялся экологический мониторинг (ЭМ) поверхностных вод региона. Анализировались концентрации загрязняющих веществ (ЗВ) в контрольных пунктах гидрохимических наблюдений, расположенных на реках протекающих по территории городов-курортов. Экологический мониторинг на курортах КМВ проводился на рр. Белая, Березовая, Ольховка, Аликоновка, Бугунта, Юца и Джемуха. Замеры проводились 1–2 раза в сезон с обязательным отбором проб в паводок, межень и половодье. Количество постов наблюдения составило: в Кисловодске – 15, Ессентуках – 4, Железноводске – 4, Пятигорске – 4. Химический анализ каждой пробы воды включал определение 34 компонентов [5]. Их выбор был обусловлен рядом причин: основные ионы речных вод ( $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Cl^-$ ); индикаторы, характеризующие способность воды к самоочищению (БПК<sub>5</sub>, растворенный кислород, рН, перманганатная окисляемость); тяжелые металлы (ТМ) (Pb, Hg, Cd, Zn, Ni,  $Mn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Cr^{+6}$ ); индикаторы различных видов загрязнений ( $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ , нефтепродукты (НП), фосфаты,  $SO_4^{2-}$ , Al, Se); компоненты с повышенным фоном ( $Ba^{2+}$ ,  $Sr^{2+}$ , Fe); неорганические ядовитые вещества ( $Be^{2+}$ , Br<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, As, фенолы); показатели радиационной безопасности (суммарная  $\alpha$ - и  $\beta$ -активность). Отбор проб для химического анализа осуществлялся согласно требованиям ГОСТ 31861-2012. Микробиологические исследования воды включали определение – КМАФАнМ, БГКП, БГКП фекальные, *Pseudomonas aeruginosa*. Отбор проб для микробиологического анализа осуществлялся согласно требованиям ГОСТ 31942-2012. При одновременном присутствии в воде двух или более веществ 1-2 классов опасности, характеризующихся однонаправленным механизмом токсического действия, по каждой пробе рассчитывался лимитирующий показатель вредности (ЛПВ). В качестве ПДК принимались наиболее жесткие из следующих нормативов: приказ № 20 от 18.01.2010 г. разработанный для водных объектов рыбохозяйственного назначения, приказ Росрыболовства от 22.12. 2016 г. № 857 и ГН 2.1.5.1315-03 для объектов культурно-бытового водопользования. Качество поверхностных вод оценивалось с использованием известных комплексных оценок ИЗВ (индекс загрязнения вод) и УКИЗВ (удельная величина комбинаторного индекса загрязненности воды). Расчет ИЗВ выполнялся по 6 показателям. В

число показателей входили концентрации марганца, меди, свинца, цинка, азота нитритного и биохимическое потребление кислорода за 5 суток (БПК<sub>5</sub>) [6]. УКИЗВ рассчитывался с учетом пятнадцати наиболее распространенных в поверхностных водах курортов КМВ ЗВ, таких как: алюминий, барий, БПК<sub>5</sub>, железо, кадмий, марганец, медь, мышьяк, нефтепродукты, никель, нитриты, свинец, стронций, фосфаты, цинк (таблица 1).

Таблица 1– Концентрации ряда поллютантов в реках курортов КМВ

Показатель	Концентрация ЗВ в реках, мг/дм <sup>3</sup>											
	Ср	Min	Max	Ср	Min	Max	Ср	Min	Max	Ср	Min	Max
КИСЛОВОДСК (рр. Березовая, Белая, Ольховка, Аликоновка)				ЖЕЛЕЗНОВОДСК (р. Джемуха)			ЕССЕНТУКИ (р. Бугунта)			ПЯТИГОРСК (р. Юца)		
As	0,02	<0,001	0,07	0,002	<0,001	0,005	0,026	<0,001	0,05	0,006	<0,001	0,02
НП	0,10	<0,02	0,25	0,10	<0,02	0,20	0,19	<0,02	0,5	0,30	<0,02	0,78
Sr	1,64	0,2	7,0	0,67	0,49	1,14	0,35	0,51	9,3	0,85	0,18	6,4
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,10	<0,02	0,29	0,12	0,05	0,25	0,15	0,04	0,98	0,06	0,04	1,15
Cd	0,005	<0,0001	0,007	0,002	<0,0001	0,006	0,005	<0,0001	0,0086	0,002	<0,0001	0,008
Zn	0,015	<0,01	0,04	0,02	<0,01	0,06	0,015	0,008	0,05	0,025	<0,01	0,039
Pb	0,01	<0,005	0,02	0,006	<0,005	0,01	0,010	<0,005	0,045	0,012	<0,005	0,028
Cu	0,003	<0,001	0,007	0,002	<0,001	0,005	0,015	<0,001	0,047	0,035	<0,001	0,082
Ni	0,01	<0,001	0,03	0,007	<0,001	0,02	0,03	<0,001	0,045	0,009	<0,001	0,12
Al	0,20	<0,01	0,55	0,26	<0,01	0,29	0,15	<0,01	0,23	0,26	<0,01	0,29
Mn	0,10	<0,001	0,15	0,07	<0,001	0,15	0,45	<0,001	0,65	0,07	<0,001	0,15
Fe	0,15	<0,05	0,98	0,18	<0,05	0,30	0,15	<0,05	0,30	0,18	<0,05	0,30
Ba	0,62	0,10	2,96	0,50	0,20	0,97	0,60	0,15	1,05	0,50	0,20	0,97
Фосфат	0,05	<0,05	0,21	0,29	<0,05	0,38	0,14	<0,05	0,38	0,29	<0,05	0,38
БПК <sub>5</sub>	2,30	0,50	5,70	1,10	0,30	4,10	1,75	0,20	4,70	1,10	0,30	4,10

Классификация качества воды по среднемноголетним значениям ИЗВ и УКИЗВ приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Классификация качества речных вод по ИЗВ и УКИЗВ

Наименование створа	Класс качества (ИЗВ)	Класс качества (УКИЗВ)
<b>р. Белая (Кисловодск)</b>		
Исток (Курортный парк)	II класс, чистые ИЗВ=0,81	1 класс, условно чистая УКИЗВ=0,7
Устье (ОДЗ)	VI класс, очень грязные ИЗВ=8,68	4 класс, разряд «в», очень грязная УКИЗВ=5,43
<b>р. Джемуха (Железноводск)</b>		
ул. Заводская (пустырь)	III класс, умеренно загрязненные ИЗВ=1,21	3 класс, разряд «б», очень загрязненная УКИЗВ=2,75
ул. Ленина	V класс, грязные ИЗВ=4,38	4 класс, разряд «а», грязная УКИЗВ=4,20
<b>р. Бугунта (Ессентуки)</b>		
ул. Тухачевского	III класс, умеренно загрязненные ИЗВ=1,56	3 класс, разряд «б», очень загрязненная УКИЗВ=3,09
Устье (ОДЗ)	VI класс, очень грязные ИЗВ=6,52	4 класс, разряд «б», грязная УКИЗВ=5,60
<b>р. Юца (Пятигорск)</b>		
Ул. 2-я линия	III класс, умеренно загрязненные ИЗВ=1,94	3 класс, разряд «б», очень загрязненная УКИЗВ=3,10
Устье (ул. Есаульская)	VI класс, очень грязные ИЗВ=9,89	4 класс, разряд «в», очень грязная УКИЗВ=5,15

Во всех обследованных реках обнаружены вещества 1–2 классов опасности – мышьяк, кадмий, ртуть, свинец, никель, стронций, селен, барий, нитриты в концентрациях, превышающих ПДК. Концентрации их составляют: As до 7 ПДК, Cd до 5 ПДК; Hg до 4 ПДК; Ba и Pb до 2,7 ПДК; Ni до 3 ПДК; Se до 8,5 ПДК; NO<sub>2</sub> до 3,6 ПДК; Sr до 17,5 ПДК. За исключением стронция и бария, имеющих повышенное природное содержание в почвах региона, все они поступают в речную воду в результате хозяйственной деятельности человека.

В зависимости от полученного ИЗВ водные объекты региона КМВ классифицированы по степени загрязнения следующим образом: чистые (1,6 % всех проб), умеренно-загрязненные (23,8 %), загрязненные (66,7 %), грязные (3,2 %) и очень грязные (4,8 %).

Выводы:

1. Наиболее грязные пробы речных вод зафиксированы в пик меженного периода.

2. В истоках рек воды соответствуют II классу качества (чистые). Вода пригодна для рыбохозяйственного и культурно – бытового водопользования. Речная вода на устьях соответствует IV и V классу качества – загрязненные и грязные. Вода непригодна для рыбохозяйственного и культурно- бытового водопользования.

3. Речные воды не отвечают гигиеническим нормативам по микробиологическим показателям. Доля неблагоприятных проб в зависимости, от сезона года достигает 94 %.

4. По ЛПВ 64 % проб не отвечают требуемым нормативам. Наибольший показатель 20,93 получен в устье р. Белая и р. Юца, где зафиксировано превышение ПДК для рекордного количества ЗВ 1–2 класса опасности (Cd, As, Pb, Sr).

5. В реках, в концентрациях превышающих ПДК, обнаружены вещества 1–2 класса опасности – As, Hg, Cd, Pb, Ni, Sr, Se, Ba, NO<sub>2</sub>. Наиболее часто встречаемые поллютанты в речных водах – Al, Sr, фосфаты, SO<sub>4</sub>, Pb, НП, Ni, соединения азота.

6. Наличие антропогенной нагрузки четко коррелируют с появлением конкретного, сопутствующего ему вида загрязнения в реках ниже по течению:

– наличие выше по течению неканализованного жилого фонда приводит к увеличению, по сравнению с фоном, показателей органического загрязнения (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, БПК<sub>полн</sub>), сульфатов и СПАВ в 1,4 – 18 раз;

– наличие АЗС, автомагистралей к приводит к увеличению концентрации НП в 2 – 15 раз;

– стоки ливневой канализации, промстоки, автомойки и мытьё железнодорожных составов способствуют росту минерализации речных вод. Минерализация речных вод малых рек возрастает в 3–5 раз с 350 до 1800 мг/л;

– наличие выше по течению промышленной зоны ведет к увеличению в 4 – 17,5 раз концентраций марганца, цинка, стронция, железа;

– нерациональное внесение удобрений, применение моющих средств сопровождается превышением в реках фосфатов, сульфатов и СПАВ в 1,8 – 7,9 раз.

7. В речных водах не зафиксированы такие ЗВ как: бериллий, бром, фенолы, хром. Показатели радиационной безопасности не превышают установленные нормы.

8. В меженный период, грунтовые воды, являясь основным источником питания рек, загрязняют их тяжелыми металлами, мышьяком, соединениями азота, фосфатами [1, 2].

В первую очередь, загрязнение рек связано с колоссальными стоками от неканализованного жилого фонда, расположенного, как правило, вдоль русел. Величина подобных стоков достигает 7,7 тыс. м<sup>3</sup>/сут [3, 4]. Сточные воды в концентрациях в несколько раз превышающих ПДК, содержат тяжелые металлы, фосфаты, сульфаты, азотсодержащие соединения, СПАВ, ПАВ и т.д.

Анализ данных многолетнего ЭМ позволяет утверждать, что ситуация с водными ресурсами в городах-курортах КМВ критическая [2, 3, 5]. Это выражается в наличии веществ 1–2 классов опасности в концентрациях превышающих ПДК, в речных водах, бактериологическом их загрязнении. Причина кроется в игнорировании простых истин. «Все должно куда-то деваться» – аксиома, не требующая доказательств. При этом на территории курортных городов строят автомобильные заправочные станции (АЗС), оборудуют ТЭЦ в самой нижней точке закрытой котловины в зоне повышенного потенциала загрязнения атмосферы. Количество автотранспорта на курортах постоянно увеличивается. На него приходится 96 % валовых выбросов в атмосферу. В XXI веке на курортах федерального значения остается не канализованной до 40 % городской территории. Не канализованные участки приурочены к местам неглубокого залегания минеральных вод (мощность зоны аэрации около 5 м) [6]. За последние 50 лет ситуация ухудшилась, поскольку население (соответственно и стоки) увеличились почти вдвое, а инженерные сети не расширились и практически не ремонтировались. Учитывая тенденции в динамике природных и антропогенных факторов за последние полвека, в перспективе следует ожидать ухудшения экологической ситуации на курортах КМВ. Таким образом, анализ данных многолетнего экологического мониторинга позволяет утверждать, что ситуация с водными ресурсами в городах-курортах КМВ близка к критической.

#### Список литературы

1. Малков А.В., Першин И.М., Помеляйко И.С. Анализ экологического состояния гидроминеральной базы курорта Кисловодск // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2016. № 1. С. 12-23.

2. Малков А.В., Першин И.М., Помеляйко И.С. Проблемы экологической безопасности гидроминеральной базы курорта Кисловодск // Актуальные проблемы гидролитосферы (диагностика, прогноз, управление, оптимизация и автоматизация): Сб. докладов. 2015. С. 92-116.

3. Помеляйко И.С., Коваленко Н.Н. Статус курорта федерального значения – привилегия или кара? // Техногенные процессы в гидролитосфере: Сб. статей. 2-го нац. науч. форума «Нарзан-2013». Пятигорск: РИА-КМВ, 2013. С. 187-214.



4. Помеляйко И.С., Малков А.В., Першин М.И. Гидроминеральная база Кисловодского месторождения углекислых минеральных вод: проблемы и пути решения // Экология Кавказских Минеральных Вод: системный анализ и концептуальные подходы. СПб-Пятигорск: Изд-во ПФ СКФУ, 2016. С. 163-177.

5. Помеляйко И. С., Малков А. В. Проблемы качества поверхностных и подземных вод курортов региона Кавказских Минеральных Вод и пути их решения // Водные ресурсы. 2019. Т. 46. № 2. С. 214-225.

6. Помеляйко В.И., Помеляйко И.С. Состояние гидроминеральной базы курорта федерального значения Кисловодска // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2012. № 2. С. 29-37.

## СОВРЕМЕННОЕ ГИДРОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДОЕМОВ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Т.М. Потапова, Т.В. Паршина, И.В. Федорова, Е.С. Шувалова  
*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,  
ptm2000@mail.ru*

Комитетом по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Администрации Санкт-Петербурга были проведены углубленные исследования ряда водных объектов Санкт-Петербурга: городских прудов и Суздальских озер, которые были продолжены в 2019 Институтом наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета. Основной проблемой большинства озер как в нашей стране, так и за рубежом является их интенсивное эвтрофирование вследствие избыточного поступления биогенных элементов. Основное внимание в литературе уделялось количественной оценке биогенной нагрузки на водоемы. При этом приоритетным показателем биогенной нагрузки является общий и неорганический фосфор, т.к. его недостаток больше чем другие элементы ограничивает продуктивность биологических сообществ. В связи с этим основной задачей настоящей работы являлась количественная оценка внешней и внутренней фосфорной нагрузки на городские водоемы и составление рекомендаций по снижению интенсивности эвтрофных процессов исследуемых водоемов.

В качестве исходной информации для проведения исследований использовались материалы экспериментальных полевых работ, проведенных в 2019 году Институтом наук о Земле системы Суздальских озер г. Санкт-Петербурга. Комплексные гидрофизические, гидрологические и гидрохимические исследования проводились при финансовой поддержке Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Администрации. Города. Оценка современного гидрохимического состояния исследованных водоемов проведена на основе результатов полевых гидрологических и химико-аналитических исследований наиболее крупных прудов и озер Санкт-Петербурга.

Методика определения внешней биогенной нагрузки на Нижнее Суздальское озеро основана на применении упрощенного варианта метода водного баланса. При этом было принято, что приходную часть баланса химических веществ в Нижнее Суздальское озеро составляет сток реки Старожиловки, а расходную часть – сток из реки Каменки. Масса годового стока химических веществ приходной части баланса рассчитывалась по формуле:

$$M = Q \times C_p \times N \text{ (кг)} \quad (1)$$

где  $Q$  - среднегодовой расход воды р. Старожиловки м<sup>3</sup>/сек,  $C_p$  – среднегодовая концентрация вещества (общего фосфора) в р. Старожиловке, г/м<sup>3</sup>,  $N$  – число секунд в году,

Внешняя нагрузка общего фосфора  $L_p$  рассчитывалась по формуле:

$$L_p = M / S \text{ (г/м}^2\text{)} \quad (2)$$

где  $S$  - площадь водного зеркала озера,  $\text{м}^2$ .

Гидрохимические наблюдения за газовым составом вод городских прудов в основные гидрологические фазы водности выявили резкое снижение в конце подледного периода концентрации растворенного кислорода до 0-2 % насыщения и увеличение в отдельных водоемах содержания сероводорода до 2-6 мг/л, а метана – до 15-34 мг/л с превышением санитарно-гигиенических ПДК в 50-100 раз. Весной содержание сероводорода в большинстве водоемов снижалось по сравнению с подледным периодом, а концентрация метана в ряде водоемов, наоборот, увеличивалась, что ухудшало эпидемиологическую обстановку как в воде водоемов, так и на окружающей территории. Обобщение данных о содержании биогенных элементов позволило дифференцировать городские водоемы по их трофическому статусу. Наиболее неблагоприятная экологическая обстановка была установлена в трех гипертрофных водоемах, в которых содержание общего фосфора варьировало на уровне 0,35-0,76 мг/л. Эти водоемы, по нашему мнению, в первую очередь нуждаются в применении различных водоохранных мероприятий, включающих в первую очередь мероприятия по снижению как внешней (выводов дренажных и коллекторных стоков) так и внутренней (удаление макрофитов, скашивание трав) биогенной нагрузки.

Более благоприятная экологическая обстановка по данным наблюдений 2019 года зарегистрирована на наиболее крупных (площадью до 70 га) Суздальских озерах города. Несмотря на высокую антропогенную нагрузку на Суздальские озера, по органолептическим характеристикам и по содержанию растворенного кислорода они не относятся к загрязненным. Содержание кислорода в подледный период было не ниже 60 % насыщения; в период открытой воды – от 80 % до 120 % насыщения. По величине минерализации, рассчитанной по сумме ионов, все воды относятся к водам средней минерализации (250-350 мг/л) преимущественно к хлоридно-натриевым с относительно высокими содержаниями ионов хлора до 100 мг/л, что не характерно для вод нашего региона и свидетельствует об интенсивной антропогенной нагрузке, которую испытывают городские озера [2]. Не смотря на прохождение крупных автомагистралей в прибрежных зонах, в озерных водах не выявлено загрязнения нефтепродуктами ( $C < 0,05$  мг/л – ниже ПДК<sub>р/х</sub>) и тяжелыми металлами (ртути, мышьяка, кадмия, свинца, хрома, цинка), содержание которых также ниже ПДК.

В наибольшей степени антропогенное влияние на Суздальские озера проявляется в интенсификации процессов их эвтрофирования, особенно резко выраженного на мелководном Нижнем Суздальском озере, наиболее сильно зарастающим по берегам тростником и водорослями по всей акватории прибрежной зоны [1].

Количественная оценка наблюдаемых эвтрофных процессов выполнена на основе метода определения биогенной нагрузки на озеро в современный период

и сопоставления полученных результатов с данными внешней нагрузки на естественные озера Карельского перешейка (таблица). Согласно данным, представленным в работе [3], озера Карельского перешейка относятся к приточно-стоковым с преимущественно мезотрофным статусом и имеют высокую залесенность и частичную распаханность водосборной территории. При этом среди Карельских озер наименьшая нагрузка отмечается для озера Красное, которое в литературе принималось за фоновое [3]; максимальное антропогенное воздействие испытывает городское Нижнее Суздальское озеро. В таблице приведены результаты расчетов внешней фосфорной нагрузки  $L_p$ , исследованных озер методом водного баланса.

Таблица – Элементы водного баланса и оценка внешней нагрузки общего фосфора на озера в разные периоды наблюдений

Озеро	Площадь зеркала, м <sup>2</sup>	Средняя глубина, м	Приход воды, 10 <sup>6</sup> м <sup>3</sup>	Расход воды, 10 <sup>6</sup> м <sup>3</sup>	$C^*_{Робщ}$ мг/л	Внешняя нагрузка общего фосфора $L_p$ , г/м <sup>2</sup>
Нижнее Суздальское	690000	3	5,0	7,8	0,055	0,50
Красное	9000000	6,6	4,3	4,6	0,04	0,30
Борисовское	1200000	3,6	1,6	2,0	0,036	0,09
Нахимовское	4200000	6,5	21,9	26,4	0,034	0,20

\* $C^*_{Робщ}$  - среднегодовая концентрация общего фосфора

Анализ таблицы показывает, что большинство исследованных озер, включая естественные и городские озера, имеют внешнюю нагрузку, колеблющуюся в близких пределах; 0,20-0,46 мг/л. Годовая внешняя нагрузка, соответствующая аллохтонному поступлению биогенных элементов в озеро, составляет:  $P_{общ} = 0,5$  г/м<sup>2</sup>,  $N_{общ} = 28,2$  г/м<sup>2</sup>. Максимальная удерживающая способность (52–56 %) установлена для минерального фосфора и аммонийного азота, минимальная (до 15 %) – для нитритного азота. Всего за 2019 г. депонировалось в озере: минерального фосфора до 107 кг, аммонийного азота - до 4 тонн.

В результате полевых и лабораторных гидрохимических исследований водоёмов Санкт-Петербурга было установлено высокое (более 10 санитарно-гигиенических ПДК) загрязнение сероводородом и метаном в подледный период в большинстве исследованных прудов, сохраняющееся даже в условиях открытой воды, а также сильное зарастание и нитритное загрязнение внутренних озер города. Большое количество городских прудов имели статус эвтрофных и гипертрофных, а также характеризовались неблагоприятными органолептическими свойствами, что делает их непригодными для рекреационного использования методом водного баланса проведены расчеты

внешней и внутренней фосфорной нагрузок на городские озера. Установлено, что внешняя фосфорная нагрузка ( $L_p$ ) на Нижнее Суздальское озеро составляет  $0,50 \text{ г/м}^2$  и находится в пределах диапазона  $L_p$ , характерного для озер Карельского перешейка, в той или иной степени испытывающих биогенную нагрузку со стороны мелиорированных водосборов. Выявленные нами особенности соотношений внешней фосфорной нагрузок для различных озер, находящихся как в фоновых, так и нарушенных условиях, показали сложный характер формирования биогенного состава озерных вод. Для получения репрезентативных характеристик биогенной нагрузки необходимо учитывать разнообразные факторы, характер водного обмена, проточность озер, а также особенности геохимического состава донных отложений, определяющих направленность седиментационных и диффузионных процессов в донной фазе.

#### Список литературы

1. Водные объекты Санкт-Петербурга. Под ред. С.А. Конратьева. СПб, 2002. 346 с.
2. Моисеенко Т.И., Гашкина Н.А. Формирование химического состава вод озер в условиях изменения окружающей среды. М.: Наука, 2010. 268 с.
3. Особенности формирования качества воды в разнотипных озерах Карельского перешейка. Л.: Наука, 1984. 290 с.

## К ВОПРОСУ О ВЗАИМОСВЯЗИ СОДЕРЖАНИЯ ЖЕЛЕЗА С ПОКАЗАТЕЛЯМИ АКТИВНОСТИ ЩЕЛОЧНОЙ ФОСФАТАЗЫ И ЭСТЕРАЗ СЕСТОНА В АЗОВСКОМ МОРЕ

Л.М. Предеина<sup>1)</sup>, Ю.А. Федоров<sup>2)</sup>, Л.Ю. Дмитрик<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> *Гидрохимический институт, Ростов-на-Дону, l.predeina@gidrohim.com*

<sup>2)</sup> *Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, fed29@mail.ru*

Железо является одним из наиболее распространенных в водных экосистемах тяжелых металлов, играющих важную роль в функционировании животных, растений и микроорганизмов. Роль железа в большинстве случаев связана с его способностью переходить из окисленной формы ( $\text{Fe}^{3+}$ ) в восстановленную ( $\text{Fe}^{2+}$ ) и обратно. Железо входит в состав многих веществ и ферментов: флавопротеидов, леггемоглобина, цитохромоксидазы, нитратредуктазы, каталазы, пероксидазы, нитрогеназы и др. Этот металл необходим для образования хлорофилла, в составе цитохромов участвует в дыхательной и фотосинтетической электронтранспортной цепи [8]. Таким образом, железо оказывает влияние на многие важнейшие метаболические процессы, происходящие в живых организмах. В этой связи правомочно предположить, что функционирование планктонных водорослей и микроорганизмов, обеспечиваемое в том числе внеклеточными ферментами, может зависеть от концентраций этого металла в воде.

Круговорот биогенных элементов фосфора и углерода в водных экосистемах напрямую связан с активностью внеклеточных гидролитических ферментов щелочной фосфатазы (ЩФ) и эстераз (Э) соответственно. Щелочная фосфатаза является одним из ключевых ферментов круговорота фосфора в водных экосистемах, эстеразы участвуют в гидролизе органических веществ. В исследованиях [1-4] показано, что активность щелочной фосфатазы (АЩФ) и эстераз (АЭ) сестона зависит от биомассы и функционального состояния организмов, синтезирующих и секретирующих эти ферменты (главным образом фитопланктона и бактериопланктона), а также от химического состава воды, так как некоторые вещества и ионы, в том числе и антропогенного происхождения, оказывают влияние как на каталитические свойства ферментов, так и на скорость синтеза и секреции ферментативных молекул, изменяя значения их активности. Таким образом, исследования АЩФ и АЭ сестона позволяют судить о состоянии планктонных организмов (в первую очередь фитопланктона), а также скорости круговорота фосфора и углерода, в зависимости от химического состава воды.

В лабораторных экспериментах с добавками сульфата железа в природную воду из р. Дон установлено, что обладающее относительно невысокой токсичностью железо в диапазоне концентраций от 0,5 до 5,0 мг/л оказывало преимущественно активирующий эффект на щелочную фосфатазу [3]. При этом с увеличением концентрации Fe и времени его воздействия активирующий эффект возрастал. Воздействие Fe на эстераз характеризовалось чередованием эффектов ингибирования и активации ферментов в зависимости от времени

воздействия и содержания металла. В исследованиях, проведенных на пресноводных объектах Ростовской области, была обнаружена статистически значимая положительная корреляция между содержанием валового железа и активностью обоих ферментов [3].

Приведенные выше данные инициировали исследования взаимосвязи концентраций железа с показателями АЩФ и АЭ в минерализованных водах Азовского моря. Пробы воды были отобраны в летний и осенний рейсы в Азовском море [9]. Показатели АЩФ и АЭ определяли во взвеси сестона, используя в качестве субстратов соответственно  $\alpha$ -нафтилфосфат и  $\alpha$ -нафтилацетат [1]. Концентрации растворенных форм соединений двух- и трехвалентного железа измеряли фотометрическим методом с 1,10-фенантролином в фильтрованных через мембранный фильтр с диаметром пор 0,45 мкм образцах воды [7].

Результаты проведенных исследований показали, что активность обоих ферментов в июле и в сентябре изменялась в достаточно широком диапазоне значений, как в Таганрогском заливе, так и, собственно, в Азовском море (таблица 1).

Таблица 1 – Показатели АЩФ, АЭ и растворенного железа в Таганрогском заливе и Азовском море (в числителе – интервал варьирования, в знаменателе – среднее значение)

Водный объект	Период наблюдений	АЩФ, мкмоль/(л·ч) $\alpha$ -нафтола		АЭ, мкмоль/(л·ч) $\alpha$ -нафтола		Концентрации растворенного железа, мг/л	
		поверхностный горизонт	придонный горизонт	поверхностный горизонт	придонный горизонт	поверхностный горизонт	придонный горизонт
Таганрогский залив	Июль (шторм)	<u>0,086-0,627</u> 0,372	<u>0,086-1,056</u> 0,412	<u>0,88-7,82</u> 4,30	<u>0,66-8,29</u> 4,99	<u>0,04-0,17</u> 0,10	<u>0,07-0,58</u> 0,17
	Сентябрь (относительный штиль)	<u>0,113-0,610</u> 0,348	<u>0,169-0,508</u> 0,290	<u>1,81-7,12</u> 4,55	<u>1,18-6,72</u> 3,77	<u>0,04-0,15</u> 0,08	<u>0,04-0,21</u> 0,09
Азовское море	Июль (шторм)	<u>0,162-3,186</u> 1,240	<u>0,06-1,473</u> 0,529	<u>0,41-2,94</u> 1,78	<u>0,19-2,19</u> 1,35	<u>0,02-0,21</u> 0,06	<u>0,02-0,17</u> 0,08
	Сентябрь (относительный штиль)	<u>0,071-1,242</u> 0,588	<u>0,099-0,311</u> 0,191	<u>1,98-8,06</u> 4,76	<u>3,19-5,91</u> 3,96	<u>0,03-0,07</u> 0,04	<u>0,02-0,07</u> 0,04

АЩФ в поверхностном горизонте воды в Азовском море была в целом выше, чем в Таганрогском заливе в оба периода наблюдений, что может быть обусловлено более низкими концентрациями минерального фосфора, отмечавшимися в Азовском море. Как известно, при низких концентрациях фосфора АЩФ увеличивается, вследствие чего не возникает дефицита минерального фосфора. В придонном горизонте воды такая тенденция отмечалась лишь в июле. В сентябре в придонном горизонте Азовского моря отмечены наиболее низкие значения АЩФ. Возможно, в штилевую погоду, которая наблюдалась в этот период, основная часть биомассы фитопланктона располагалась в поверхностном горизонте более глубокого Азовского моря.

Распределение АЭ отличалось от АЩФ. В среднем самые низкие значения АЭ отмечались в июле в Азовском море в обоих горизонтах. Следует отметить, что средние значения АЭ двух экспедиций в Таганрогском заливе отличались незначительно и были близкими с данными, полученными в Азовском море в сентябре.

Четких закономерностей в распределении активности обоих ферментов по глубине не установлено. На большинстве станций активность ферментов в поверхностном и придонном горизонтах отличалась незначительно. Однако, на отдельных станциях, несмотря на небольшие глубины, значения активности ферментов на поверхности и у дна отличались в несколько раз. Наибольшее превышение АЩФ в поверхностном горизонте по сравнению с придонным (более 10 раз) отмечено в зоне смешения с водой Черного моря вблизи Керченского пролива. Такое соотношение АЩФ на данном участке отмечалось и в июле, и в сентябре и обусловлено, по-видимому, резким повышением солености у дна. Для эстераз таких резких отличий активности в поверхностном и придонном горизонтах не отмечено. Только в июле на выходе из Таганрогского залива наблюдалось значительное (в 7 раз) превышение АЭ у дна, что может быть обусловлено загрязнением воды. Здесь выявлено наибольшее содержание взвешенных веществ.

Пространственное распределение активности обоих изученных ферментов, как в Таганрогском заливе, так и в Азовском море, также отличалось. Наиболее высокая АЩФ в поверхностном и придонном горизонтах Таганрогского залива отмечена в центральной части. В восточной и западной части Таганрогского залива значения АЩФ отличались незначительно. Выявлена явная тенденция повышения АЩФ от приустьевого участка по направлению к г. Ейску. В Азовском море в июле АЩФ в поверхностном слое водной толщи постепенно повышалась от выхода из Таганрогского залива к зоне смешения с водами Черного моря. В придонном слое зона повышенной активности АЩФ отмечалась вблизи г. Приморско-Ахтарска. В сентябре в поверхностном горизонте Таганрогского залива отмечено существенное отличие АЩФ в лево- и правобережной части. Левобережная часть залива, за исключением участка у г. Ейска, отличалась более низкими значениями АЩФ, которые не превышали 0,3 мкмоль/(л·ч)  $\alpha$ -нафтола. В правобережной зоне АЩФ изменялась в диапазоне от 0,423 до 0,61 мкмоль/(л·ч)  $\alpha$ -нафтола.

АЭ в Таганрогском заливе в июле и в сентябре увеличивалась от приустьевого участка к выходу в собственно море с максимумом в центральной части в поверхностном горизонте и в западной части ближе к выходу из залива – в придонном горизонте. В Азовском море в июле АЭ уменьшалась, как в поверхностном, так и в придонном горизонтах, в направлении Керченского пролива. Более высокие значения АЭ, как и АЩФ, регистрировалась на участке вблизи г. Приморско-Ахтарска. В сентябре для АЭ выявлена та же тенденция, что и для АЩФ – повышение к Керченскому проливу. Однако, максимум АЭ в Азовском море выявлен в наиболее мористой зоне изученной части Азовского моря.



Исследования, выполненные на пресноводных объектах, свидетельствуют о том, что значения АЭ в большей степени коррелируют с трофностью, а АЩФ – с загрязненностью вод [1, 2]. В этой связи находит объяснение приуроченность повышенных значений АЩФ к зоне влияния крупных портовых городов.

Одновременно с определением показателей АЩФ и АЭ измеряли концентрацию растворенных форм соединений железа (Fe). Концентрации Fe, представленные в таблице 1, изменялись в течение рассматриваемых периодов наблюдений в достаточно широком диапазоне: от 0,04 до 0,21 мг/л в поверхностном горизонте и от 0,04 до 0,58 мг/л в придонном. В отдельных пробах концентрации Fe превышали ПДК, установленные для рыбохозяйственных водоемов, в 1,5-5,8 раз. Для оценки возможного влияния Fe на активность рассматриваемых ферментов, проведен корреляционный анализ в различных метеорологических условиях – шторма и относительного штиля, результаты которого представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Коэффициенты корреляции (r) между показателями активности ферментов сестона и концентрациями растворенного железа в Азовском море (n – количество парных определений)

Показатели активности ферментов	Период наблюдений	Поверхностный и придонный горизонты	Поверхностный горизонт	Придонный горизонт
АЩФ	Июль и сентябрь	-0,14 (n=55, P>0,05)	<b>-0,32</b> (n=34, P≤0,10)	0,26 (n=20, P>0,05)
	Июль (шторм)	-0,25 (n=24, P>0,05)	-0,46 (n=12, P>0,05)	0,12 (n=12, P>0,05)
	Сентябрь (относительный штиль)	-0,11 (n=31, P>0,05)	-0,28 (n=22, P>0,05)	<b>0,61</b> (n=9, P≤0,10)
АЭ	Июль и сентябрь	0,03 (n=55, P>0,05)	-0,04 (n=34, P>0,05)	0,14 (n=20, P>0,05)
	Июль (шторм)	<b>0,46</b> (n=24, P≤0,05)	0,44 (n=12, P>0,05)	<b>0,49</b> (n=12, P≤0,05)
	Сентябрь (относительный штиль)	<b>-0,50</b> (n=31, P≤0,05)	<b>-0,46</b> (n=22, P≤0,05)	<b>-0,58</b> (n=9, P≤0,10)

При анализе общего массива данных для Азовского моря значимых коэффициентов корреляции между концентрацией Fe и активностью обоих ферментов не выявлено. Так, коэффициент корреляции (r) между Fe и АЩФ был равен – 0,14; а между Fe и АЭ r = 0,03. Отсутствие связи, возможно, обусловлено влиянием комплекса гидрологических и физико-химических факторов. В июле в период проведения экспедиционных наблюдений преобладали штормовые условия, в сентябре стоял относительный штиль. Поэтому нами была предпринята попытка уменьшить количество влияющих факторов и рассмотреть взаимосвязь активности ферментов и Fe отдельно в

штормовых и относительно штилевых погодных условиях, а также разделить поверхностный и придонный горизонты. Статистически значимая обратная зависимость установлена между Fe и АЩФ ( $r = -0,32$  при  $P \leq 0,10$ ) в поверхностном горизонте при совмещенной обработке июльских и сентябрьских проб. С эстеразами связь при таких условиях отсутствовала.

При разделении массива данных по глубине с 90 %-ным уровнем значимости выявлена положительная зависимость между Fe и АЩФ в придонном горизонте при относительном штиле ( $r = 0,61$  при  $P \leq 0,10$ ). С эстеразами при таком подходе связь была более устойчивой, однако имела противоположную направленность в разные периоды наблюдений. В летних условиях при штормовой погоде статистически значимые положительные коэффициенты корреляции между Fe и АЭ установлены для придонного горизонта ( $r = 0,49$  при  $P \leq 0,05$ ), а также для совмещенного массива данных с обоих горизонтов ( $r = 0,49$  при  $P \leq 0,05$ ). В сентябре, при относительном штиле, все рассчитанные коэффициенты корреляции были статистически достоверны (с разным уровнем значимости) и имели отрицательный знак (таблица 2).

Вышеприведенный анализ показал сложный характер связей между Fe и показателями активности щелочной фосфатазы и эстераз сестона в Азовском море, который, при большой доле вероятности, обусловлен экранированием влияния других физико-химических факторов. В рассматриваемый период наблюдений в Азовском море выявлены повышенные, до 10 ПДК, концентрации некоторых других тяжелых металлов (Cu, Zn, Pb, Ni) и установлены, в основном, положительные статистически значимые коэффициенты корреляции между содержанием этих металлов и показателями АЩФ и АЭ [5]. Кроме того, выявлена фазность ответной реакции показателей активности ферментов на воздействие загрязняющих веществ, которая характеризуется изменением ее направленности в зависимости от концентрации вещества и времени воздействия. В экспериментах с добавками ионов металлов с выраженным токсическим действием, Zn, Cu и Hg, при кратковременном воздействии, от нескольких часов до 1 сут, наблюдалось снижение АЩФ и АЭ, а при более длительном воздействии, от 2 до 3 сут (эксперименты в аквариумах) и более (эксперименты на мезокосмах), повышение [3, 4]. С увеличением концентрации металлов быстрее наступала смена угнетения на активацию и увеличивалась амплитуда колебаний активности ферментов.

Степень и направленность воздействия тяжелых металлов зависит также от концентраций биогенных веществ. При низких концентрациях соединений азота и фосфора (олиготрофные условия) в экспериментах с добавками катионов Zn и Cu в диапазоне от 0,005 до 0,05 мг/л эффект активации щелочной фосфатазы и эстераз не установлен. Напротив, через 2 и 3 сут после внесения наблюдался угнетающий эффект, который усиливался с увеличением концентрации металла и времени воздействия [6].

Таким образом, в природных водах на показатели активности внеклеточных ферментов сестона влияет комплекс гидрологических и физико-химических факторов, которые могут оказывать разнонаправленное воздействие на АЩФ и АЭ в конкретных условиях. Это требует других

подходов к анализу влияния растворенного Fe на показатели АЩФ и АЭ, например, проведение натуральных экспериментов на изолированных объемах морской воды (мезокосмах), а также использование регрессионного и многофакторного анализа данных наблюдений.

#### Список литературы

1. Предеина Л.М. Методы определения активности внеклеточных эстераз и щелочной фосфатазы сестона и возможности их использования для оценки уровня евтрофирования и загрязнения пресноводных экосистем /Автореф. дисс. канд. хим. наук. Ростов-на-Дону, 1992. 24 с.

2. Предеина Л.М., Федоров Ю.А., Морозова Е.В., Уразаев К.К., Предеин М.Н. Показатели активности щелочной фосфатазы и эстераз в мониторинге поверхностных вод – теоретические предпосылки и перспективы использования // Изв. ВУЗов. Сев.-Кав. регион. Естеств. науки. 2003. № 4. С. 88-92.

3. Предеина Л.М., Бейсуг О.И., Предеин М.Н. Влияние повышенных концентраций цинка и железа на активность внеклеточных эстераз и щелочной фосфатазы в природных и модельных пресноводных экосистемах // Изв. ВУЗов. Сев.-Кав. регион. Естеств. науки. 2006. № 7. С. 69-81.

4. Предеина Л.М., Федоров Ю.А., Бейсуг О.И., Предеин М.Н. Влияние ионов меди и ртути на показатели активности внеклеточных эстераз и щелочной фосфатазы в водных экосистемах // Биология внутренних вод. 2006. № 2. С. 89-96.

5. Предеина Л.М., Федоров Ю.А., Предеин М.Н. О связи показателей активности щелочной фосфатазы и эстераз сестона с загрязненностью воды тяжелыми металлами в Азовском море // Экологические проблемы. Взгляд в будущее / Сб. трудов V Междун. научно-практ. конфер., СОЛ Лиманчик, 7-10 сент. 2008 г. Ростов-на-Дону, 2008. С. 392-394.

6. Предеина Л.М. Влияние добавок меди и цинка на активность щелочной фосфатазы и эстераз сестона в экспериментах на природных водах. //Изв. ВУЗов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2008. № 6. С. 101-107.

7. РД 52.24.358-2006 Массовая концентрация железа общего в водах. Методика выполнения измерений фотометрическим методом с 1,10-фенантролином.

8. Якушина Н.И. и Бахтенко Е.Ю. Физиология растений. М.: ВЛАДОС, 2004. 463 с.

9. Fedorov Yu.A., Kuznetsov A.N., Predeina L.M., Semochkina T.B., Torgunova N.I., Sapozhnikov V.V., Agatova A.I., Arzhanova N.V., Belov A.A., Lapina N.M., Loginov E.B. Multidisciplinary ecosystem studies in the Russian part of the Sea of Azov (July 18-25, 2006) Oceanology. 2007. Vol. 47. No 2. pp. 294-297.

# СОСТОЯНИЕ БИОТЫ РЕК СТЕПНОЙ ЗОНЫ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ (НА ПРИМЕРЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ)

О.С. Решетняк<sup>1), 2)</sup>

<sup>1)</sup>*Институт наук о Земле Южного федерального университета,  
Ростов-на-Дону, osreshetnyak@sfedu.ru*

<sup>2)</sup>*Гидрохимический институт Росгидромета, Ростов-на-Дону, olgarel@mail.ru*

Интенсивное использование водных ресурсов на юге Европейской части России и высокая антропогенная нагрузка на водные экосистемы приводит к нарушению их экологического состояния и трансформации состояния биоты. Наблюдается снижение видового разнообразия, упрощение структуры сообществ (выход на доминирующее положение отдельных видов водных организмов, чаще всего, представителей загрязненных вод), «цветение» воды и усиление процессов эвтрофирования природных вод, или проявление экологического регресса сообществ при токсическом эффекте загрязнения водной среды [4, 5].

Реки степной зоны Ростовской области (водотоки бассейнов Северского Донца и Тузлова) находятся в пределах естественной геохимической аномалии – угольного бассейна Восточного Донбасса. Вода рек в бассейнах Тузлова и Северского Донца загрязняется не только техногенными шахтными водами, но и сточными водами промышленных предприятий, хозяйственно-бытовыми и сельскохозяйственными стоками [2, 8].

Начавшаяся в 1990-е гг. реструктуризация угледобывающей отрасли, основу которой составила ликвидация нерентабельных шахт «мокрым» способом, заметно усилила негативные явления и ухудшила гидроэкологическую обстановку в регионе. Длительная разработка угольных месторождений и последующая массовая ликвидация угольных шахт привели к значительной трансформации геохимических процессов на водосборах рек Ростовской области и усилении техногенной нагрузки на водотоки. Многие из них постепенно стали терять свои естественные природные функции, происходила деградация их биоты и резкое ухудшение качества воды в целом, что сделало невозможным использование речных вод для питьевых и хозяйственных целей [1, 2].

В такой ситуации наиболее уязвимыми оказались степные реки северо-западной части Ростовской области, испытывающие высокую техногенную нагрузку в условиях вододефицитного региона и засушливого климата. Эти обстоятельства и обуславливают важность и актуальность нашего исследования.

Цель данного исследования – оценить состояние биоты рек степной зоны (в пределах водосборов Северского Донца и Тузлова, Ростовская область) в зоне влияния техногенных источников – объектов угольной промышленности.

Объекты исследования – малые и средние реки двух бассейнов Северского Донца (реки Быстрая, Калитва, Малая и Большая Каменка Лихая, Кундрючья и Большая Гнилуша) и Тузлова (реки Большой и Малый Несветай, Аюта,

Грушевка, Кадамовка), испытывающие разный уровень техногенного воздействия от объектов угледобывающей промышленности.

Пробы речной воды на гидробиологический анализ (фито- и зоопланктон) отбирали в осенний период 2014 г. по длине водотоков, охватывая верхние, средние (в пределах расположения шахт и других объектов угольной отрасли) и устьевые участки рек. Всего в исследование состояния планктонных сообществ включено 12 рек и обследован 31 речной участок. Для изучения состояния бентосных сообществ пробы донных отложений были отобраны в осенний период 2015 г. на тех же участках рек.

Характерной чертой развития фитопланктона исследуемых рек степной зоны является высокая изменчивость общей численности. Так, в реках бассейна Тузлова общая численность фитопланктона варьировала от 2,2 до 31,0 тыс. кл/см<sup>3</sup>, в бассейне Северского Донца – от 2,5 до 53,5 тыс. кл/см<sup>3</sup>. При этом в большинстве створов доминировали диатомовые водоросли, реже – представители зеленых водорослей (хлорококковые и вольвоксовые). От 43 до 82 % от общей численности составляли диатомовые водоросли на участках рек в бассейне Тузлова и от 29 до 91 % – в бассейне Северского Донца. Чаще всего содоминантами являлись хлорококковые водоросли в створах наблюдения в бассейне Тузлова, синезеленые и вольвоксовые водоросли – в бассейне Северского Донца [8].

Уровень развития макрозообентоса рек в бассейнах Северского Донца и Тузлова характеризуется широким размахом значений от 40 до 3780 экз./м<sup>2</sup>, что указывает на неустойчивость сообщества и наличие факторов воздействия. Количество обнаруженных групп в пробах менялось от 1 до 7, но в тех случаях, когда доминировала одна группа бентосных сообществ, это, как правило, были олигохеты, что указывает на высокий уровень загрязнения водной среды рек [7]. Большинство исследуемых рек по степени загрязненности воды характеризуются как «грязные» или «очень грязные» (4-й класс качества).

Для оценки влияния техногенного фактора на состояния биоты рек степной зоны (в пределах водосборов Северского Донца и Тузлова) проведено обобщение гидробиологической информации по группам створов (верхние, нижние и устьевые). Результаты обобщения приведены в таблице.

Анализ обобщенных данных, приведенных в таблице, не позволяет сделать однозначного вывода о влиянии техногенных шахтных вод на уровень развития планктонных и бентосных сообществ. Можно говорить о лишь незначительном снижении уровня развития бентоса на участках рек, расположенных ниже мест выхода техногенных шахтных вод.

Проведенный ранее анализ изменчивости состояния фитопланктона на различных участках исследуемых рек в зоне возможного влияния техногенных источников показал, что в ряде створов наблюдается угнетение сообщества на участках ниже выхода шахтных вод в речную сеть с последующим усилением развития на устьевых участках рек Кадамовка, Большой Несветай в бассейне Тузлова. В отдельных створах прослеживалась даже стимуляция развития фитопланктона. Это наблюдалось на участках ниже выхода шахтных вод в

русло рек Малый Несветай, Аюта и Грушевка (бассейн Тузлова) и рек Лихая, Малая Каменка и Калитва (бассейн Северского Донца) [8].

Таблица 1 – Обобщенные данные о состоянии биоты рек степной зоны Ростовской области

Фитопланктон		Макрозообентос	
<b>Створы выше сброса сточных вод шахт</b>			
Диапазон ОЧ, тыс.кл/см <sup>3</sup>	2,5–53,5	Диапазон ОЧ, экз./м <sup>2</sup>	120–3780
Количество групп	3–8	Количество групп	1–7
Доля массовых видов, %	32–82 Диатомовые 31–36 Хлорококковые	ОтнЧО, %	0–55,6
<b>Створы ниже сброса сточных вод шахт</b>			
Диапазон ОЧ, тыс.кл/см <sup>3</sup>	3,8–49,3	Диапазон ОЧ, экз./м <sup>2</sup>	80–1600
Количество групп	2–7	Количество групп	2–7
Доля массовых видов, %	29–91 Диатомовые 36–40 Хлорококковые	ОтнЧО, %	0–67,9
<b>Устьевые створы рек</b>			
Диапазон ОЧ, тыс.кл/см <sup>3</sup>	2,9–47,0	Диапазон ОЧ, экз./м <sup>2</sup>	40–3280
Количество групп	3–8	Количество групп	1–3
Доля массовых видов, %	36–63 Диатомовые 33–99 Вольвоксовые	ОтнЧО, %	0–100
Используемые сокращения: ОЧ – общая численность, ОтнЧО – относительная численность олигохет.			

Воздействие на речную сеть со стороны ликвидированных шахт проявляется в виде поступления высокоминерализованных агрессивных техногенных вод в речные воды через подземные или самоизливом. В ходе смешения техногенных шахтных вод с речными происходит изменение химического состава последних. Это проявляется в увеличении минерализации воды, повышении содержания макро- и микрокомпонентов (Fe, Al, Mn, Cu, Sr), до концентраций значительно превышающих ПДК [2, 3, 6]. Такое влияние распространяется и на устьевые участки малых и средних рек, поскольку реки имеют малую водность и не способны быстро справлять с поступлением загрязняющих веществ. Это также подтверждается снижением разнообразия групп и усилением роли олигохет в составе бентосной фауны в устьях рек [7].

Влияние на фитопланктонное сообщество также проявляется в массовых видах – именно на участках рек, расположенных ниже мест выхода шахтных вод, наблюдалось содоминирование в фитопланктоне синезеленых водорослей.

Проведенный анализ позволил оценить возможное влияние техногенных источников (шахтных вод) на состояние биоты рек степной зоны (в пределах водосборов Северского Донца и Тузлова). Для исследуемых рек характерна высокая изменчивость количественных и качественных показателей развития фитопланктона и бентоса на участках водотоков, подверженных влиянию объектов угольной промышленности, что свидетельствует о неустойчивом состоянии сообщества.

Выявлены разнонаправленные тенденции (угнетение или стимуляция) развития фитопланктона и усиление роли синезеленых водорослей на участках рек ниже выхода техногенных шахтных вод в речную сеть.

В составе бентосной фауны чаще всего преобладали хирономиды и олигохеты, доминирование последних возросло в зоне влияния техногенных источников. Влияние высокоминерализованных шахтных вод на малых реках может распространяться вплоть до устьевых участков.

Полученные результаты следует считать предварительными, требующими более детальных и углубленных исследований. Необходимо эффективное решение гидроэкологических проблем малых и средних рек степной зоны нашего региона для осуществления экологически обоснованной водоохраной политики в сфере управления и оценки состояния водных ресурсов Ростовской области.

*Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда (проект № 14-17-00376).*

#### Список литературы

1. Закруткин В.Е., Гибков Е.В., Скляренко Г.Ю., Решетняк О.С. Геоэкологические проблемы углепромышленных территорий // Проблемы безопасности окружающей среды : сб. тр. междунар. науч. конф. государств-членов Организации оговора о коллективной безопасности (Ереван, 27–29 сентября 2016 г.). Ереван: Изд-во «Гитутюн» НАН РА, 2016. С. 85-92.

2. Закруткин В.Е., Скляренко Г.Ю., Бакаева Е.Н., Решетняк О.С., Гибков Е.В., Фоменко Н.Е. Поверхностные и подземные воды в пределах техногенно-нарушенных геосистем Восточного Донбасса: формирование химического состава и оценка качества. Ростов-н/Д.: Изд-во Южного федерального университета, 2016. 171 с.

3. Закруткин В.Е., Решетняк О.С., Бабаян Г.Г., Гибков Е.В., Саакян Г.А., Решетняк В.Н. Современный химический состав и тенденции пространственно-временной изменчивости качества речных вод Восточного Донбасса // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки, 2017. № 2. С. 101-109.

4. Никаноров А.М., Брызгало В.А., Решетняк О.С. Реки России в условиях чрезвычайных экологических ситуаций. Ростов-н/Д.: Изд-во «НОК», 2012. 310 с.

5. Решетняк О.С. Экологические последствия химического загрязнения речных экосистем Европейской территории России // Чистая вода России-2015:

сб. мат. XIII междунар. симпозиума и выставки «Чистая вода России». Екатеринбург: Изд-во ФГУП РосНИИВХ, 2015. С. 276-281.

6. Решетняк О.С., Закруткин В.Е., Гибков Е.В. Микроэлементы в речных водах Восточного Донбасса // Геоэкологические проблемы углепромышленных территорий. Сборник трудов научной конференции с международным участием; Южный федеральный университет. Ростов-на-Дону: Издательство ЮФУ, 2015. С. 283-295.

7. Решетняк В.Н., Решетняк О.С. Характеристика бентосных сообществ малых и средних рек Восточного Донбасса в зоне влияния объектов угольной промышленности // Актуальные вопросы рыболовства, рыбоводства (аквакультуры) и экологического мониторинга водных экосистем: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию Азовского научно-исследовательского института рыбного хозяйства. Ростов-на-Дону, 11-12 декабря 2018 г., ФГБНУ «АзНИИРХ». Ростов-н/Д.: Изд-во ФГБНУ «АзНИИРХ», 2018. С. 335-339.

8. Сазонов А.Д., Комаров Р.С., Решетняк О.С. Характеристика фитопланктона малых и средних рек Восточного Донбасса в зоне влияния объектов угольной промышленности // Актуальные вопросы рыболовства, рыбоводства (аквакультуры) и экологического мониторинга водных экосистем: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию Азовского научно-исследовательского института рыбного хозяйства. Ростов-на-Дону, 11-12 декабря 2018 г., ФГБНУ «АзНИИРХ». Ростов-н/Д.: Изд-во ФГБНУ «АзНИИРХ», 2018. С. 344-348.



## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РЕК САЛ И СЕВЕРСКИЙ ДОНЕЦ (В ПРЕДЕЛАХ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ)

А.Д. Сазонов<sup>1), 2)</sup>

<sup>1)</sup>ФГБУ «Гидрохимический институт», Ростов-на-Дону, [info@gidrohim.com](mailto:info@gidrohim.com)

<sup>2)</sup>Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону,

[alexei.sazonow2016@ya.ru](mailto:alexei.sazonow2016@ya.ru)

На сегодняшний день поверхностные воды остаются одним из самых главных источников питьевой воды, несмотря на успехи в разведке и добыче подземных вод. В Российской Федерации достаточно водных ресурсов для обеспечения нужд населения. Однако, это статистическое обобщение, так как в нашей стране есть регионы с весьма засушливым климатом, население которых испытывает дефицит в качественной питьевой воде (водообеспеченность в Ростовской области составляет около 6,2 тыс. м<sup>3</sup>/год на человека) [2]. Как правило, в подобных регионах очень высокая плотность населения и, вследствие этого, развитая и интенсивная хозяйственная деятельность (промышленность, сельское хозяйство).

Объектами данного исследования являются реки Северский Донец и Сал, которые являются правым и левым притоком Нижнего Дона соответственно. Целью исследования являлось изучение экологических проблем данных рек, а также рассмотрение их взаимосвязи с гидрологическими особенностями.

Река Северский Донец берет начало в Белгородской области и является трансграничным водным объектом, так как протекает по территории Украины. Является правобережным притоком Нижнего Дона. Площадь водосборного бассейна реки составляет около 98900 км<sup>2</sup>, длина – 1053 км. Среднегодовой расход воды составляет порядка 200 м<sup>3</sup>/с [3].

Установлено, что в последние годы качество воды Северского Донца остается достаточно низким. Качество воды в пределах Ростовской области оценивается как «грязная» (4 «а», «б») в течение последних лет. Состояние фитопланктона характеризуется как антропогенное напряжение с элементами экологического регресса. Токсическое действие речных вод в бассейне Северского Донца проявляется повсеместно. Все это говорит о весьма напряженном экологическом состоянии реки [1, 5].

Основными источниками загрязнения вод реки являются объекты реструктурированной угольной промышленности в виде техногенных шахтных вод, а также сбрасываемые недостаточно очищенные и неочищенные сточные воды различных предприятий и сельского хозяйства.

В ходе исследования была изучена динамика водного стока р. Северский Донец (рисунок 1). При рассмотрении динамики годового стока можно обнаружить заметную тенденцию его снижения в период с 2008 по 2017 год, что является весьма серьезной проблемой, если учитывать напряженное экологическое состояние реки и ее значимость в качестве источника для питьевого водоснабжения и промышленности. Среднегодовой сток за рассматриваемый период составил около 3,14 км<sup>3</sup>.

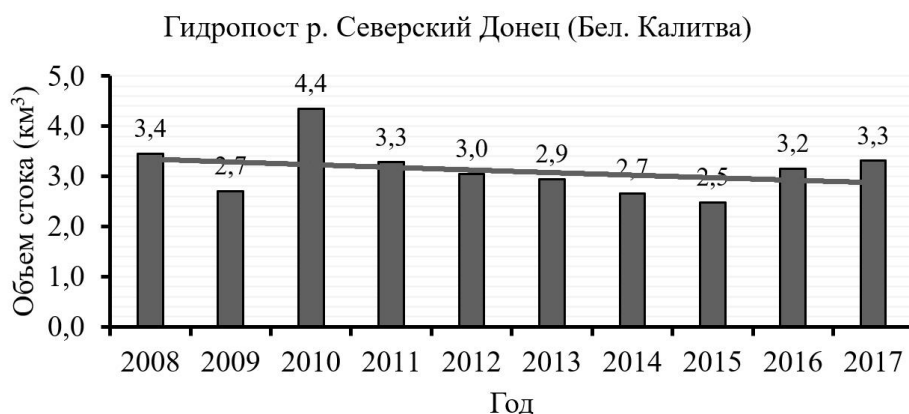


Рисунок 1 – Динамика водного стока р. Северский Донец (составлено автором)

Река Сал берет начало на границе Ростовской области и Республики Калмыкии на западных склонах возвышенности Ергени. Практически весь водосбор реки находится на территории Ростовской области, и его общая площадь составляет около 21300 км<sup>2</sup>; длина реки – 800 км. Река имеет ассиметричный водосбор (левая часть значительно больше правой). Среднегодовой расход в устье составляет около 15 м<sup>3</sup>/с, что говорит о маловодности реки в сравнении с другими крупными притоками р. Дон.

Экологическое состояние реки также весьма напряженное, о чем говорит качество воды в течение нескольких последних лет – вода оценивается категорией «грязная» (4 «а»). В районе устья неоднократно проявлялось превышение ПДК по нефтепродуктам и минерализации [4].

Основными источниками загрязнения вод реки являются сбросы недостаточно очищенных и неочищенных сточных вод, использование притоков реки в качестве водопоя для крупного рогатого скота, наличие техногенных нефтяных линз вблизи реки в результате многолетнего использования нефтехранилищ. Негативное влияние перечисленных источников загрязнения р. Сал усугубляется маловодностью реки и периодическим пересыханием ее русла [4, 7].

Маловодность реки Сал обусловлена, прежде всего, климатическими особенностями, но также немаловажную роль играет и антропогенное влияние. Например, использование различных гидротехнических сооружений, большая часть которых на реке Сал являются полностью непроницаемыми, т. е. они задерживают воду без возможности ее сброса. Многие из них имеют примитивную конструкцию в виде обычных земляных насыпей, что приводит к заиливанию реки [6].

Ещё одной острой экологической проблемой является интенсивное изъятие грунтовых вод на водосборной площади. Это также влияет на водность реки, так как в естественном состоянии (без изъятия вод) подземные воды находятся выше уровня воды в реке в меженный период, т. е. подземные источники могут компенсировать маловодье в наиболее напряженный засушливый период.

Стоит отметить, что антропогенное воздействие проявляется не только в уменьшении объема стока, но и в его увеличении в летний период. Это связано

с тем, что реку Сал пересекает Донской магистральный канал, по которому происходит переброска стока реки Дон в весенний и летний периоды. Как правило, остатки воды сбрасываются в реку Сал и ее крупные притоки. Переброска стока практически не улучшает проблему маловодья, так как ее недостаточно, и она происходит в течение кратковременного периода [7].

Сток реки Сал имеет меньшие объемы в сравнении с Северским Донцом и наблюдаемая в динамике тенденция снижения водного стока (рисунок 2) проявляется с большей интенсивностью. Среднегодовой объем стока за рассматриваемый период составляет около  $0,28 \text{ км}^3$ , что примерно в 11 раз меньше, чем у реки Северский Донец.

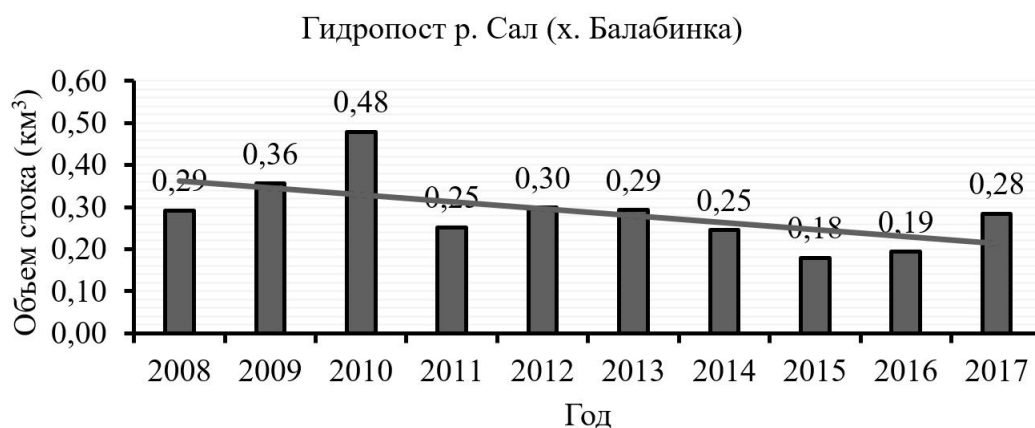


Рисунок 2 – Динамика водного стока р. Сал в 2008-2017 гг.  
(составлено автором)

За исследуемый период наибольший объем стока для обеих рек наблюдался в 2010 году, что могло быть связано с региональными климатическими процессами, которые охватили водосборные территории рек Сал и Северский Донец, находящихся в разных климатических подзонах степной зоны. Данный скачок для рассматриваемых рек по большей части обусловлен увеличением объема стока в весенний период.

При изучении и сравнении полученных данных можно обнаружить, что снижение стока рек происходит с разной интенсивностью, что можно объяснить климатическими особенностями Ростовской области. Река Сал находится в более засушливых климатических условиях, поэтому она наиболее чувствительна к климатическим изменениям и антропогенному воздействию, особенно к зарегулированию стока [6].

Многолетняя динамика стока в разные гидрологические сезоны для исследуемых рек представлена на рисунках 3 и 4. При рассмотрении внутригодовых тенденций водного стока выявлено, что распределение стока по сезонам меняется для обеих рек.

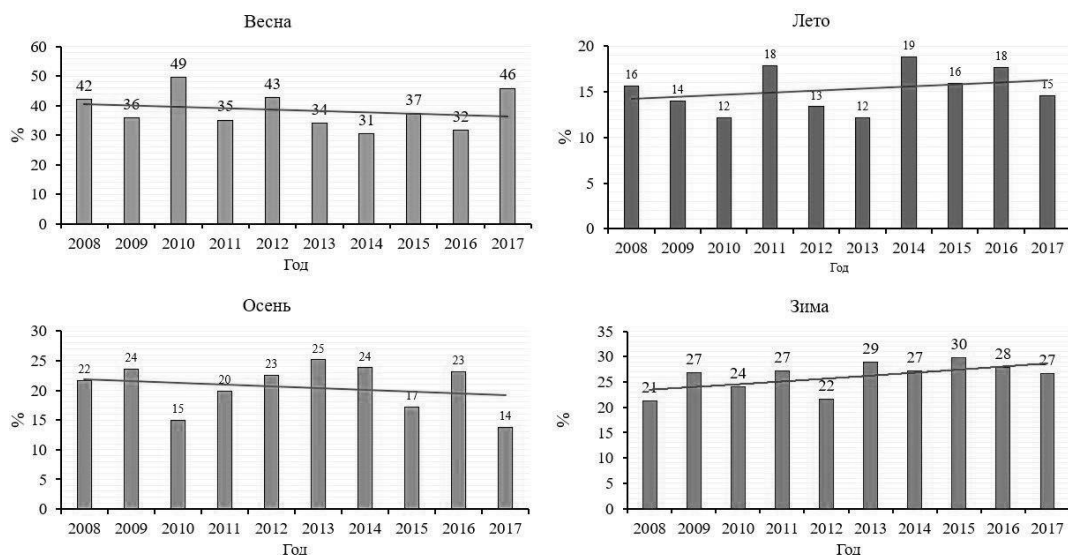


Рисунок 3 – Динамика стока в разные гидрологические сезоны для р. Северский Донец в 2008-2017 гг. (составлено автором)

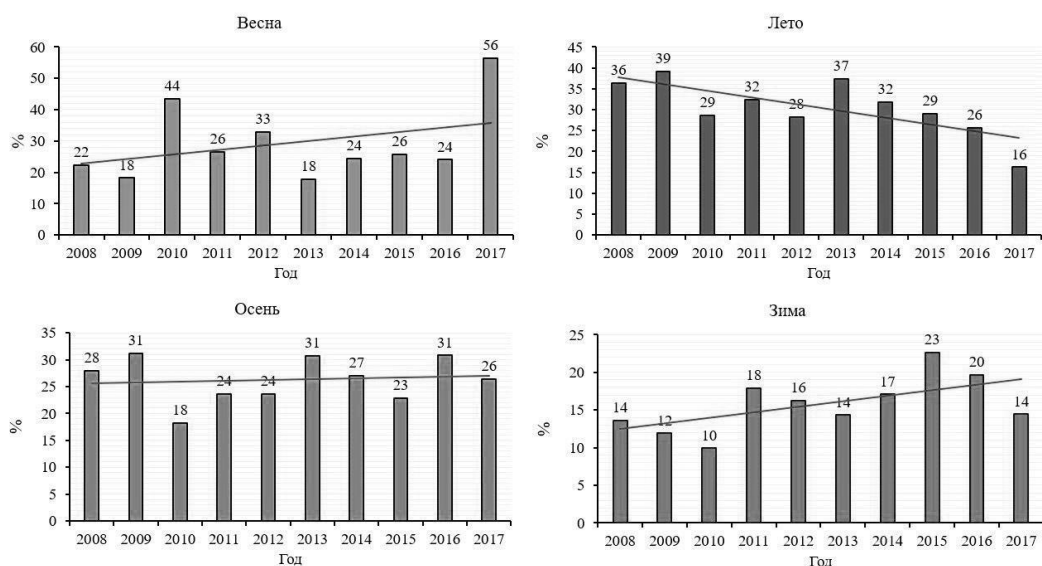


Рисунок 4 – Динамика стока в разные гидрологические сезоны для р. Сал в 2008-2017 гг. (составлено автором)

Для р. Северский Донец характерно возрастание доли стока в зимний и летний периоды, а для р. Сал – в весенний и зимний (в осенний – незначительно). Изучив динамику стока реки Сал в разных гидрологических сезонах, можно заметить, что только за счет сокращения летней доли стока происходит многолетнее сокращение динамики стока.

Экологические проблемы исследуемых рек неразрывно связаны с их гидрологическими особенностями. Так, в периоды маловодья концентрации загрязняющих веществ могут увеличиваться. Качество воды в последние годы в изучаемых реках значительно не меняется, что говорит об устойчивости загрязнения. Однако, если тенденция снижения объемов годового стока будет сохраняться, то качество воды может значительно ухудшиться.

Река Северский Донец испытывает бóльшую антропогенную нагрузку, но она более устойчива по сравнению с рекой Сал к данной нагрузке в силу своих

гидрологических особенностей. Оздоровление Северского Донца представляет собой сложную задачу, поскольку управление качеством воды трансграничного водного объекта требует согласованных природоохранных мероприятий со стороны России и Украины.

Река Сал не используется в качестве источника питьевого водоснабжения, но проблема сохранения и улучшения качества воды является также актуальной. Сал находится на грани исчезновения, река иногда пересыхает из-за природно-климатических изменений и антропогенного воздействия. Пересыхание реки может привести к исчезновению и других речных экосистем, понижению уровня грунтовых вод в восточной части Ростовской области и ускорению процессов опустынивания.

Таким образом, экологическое состояние рек Сал и Северский Донец неразрывно связано с их гидрологическими особенностями, которые могут изменяться в современных условиях нестационарного климата и интенсивной хозяйственной деятельности. Для улучшения экологической ситуации и нормализации гидрологического режима рекомендуется: сокращение объема сбрасываемых недостаточно-очищенных и неочищенных вод; рациональное использование гидротехнических сооружений с учетом имеющихся и прогнозируемых гидрологических особенностей; регулярная очистка наиболее заиленных участков русла.

#### Список литературы

1. Васта Ахмед Х.А., Решетняк О.С., Закруткин В.Е. Комплексная оценка современного состояния речных экосистем в бассейне Северского Донца (в пределах Ростовской области) / Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2019. № 2 (202). С. 47-54.
2. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2018 году». М.: НИИ-Природа, 2019. 290 с.
3. Закруткин В.Е., Скляренко Г. Ю., Бакаева Е. Н., Решетняк О.С., Гибков Е.В., Фоменко Н.Е. Поверхностные и подземные воды в пределах техногенно-нарушенных геосистем Восточного Донбасса: формирование химического состава и оценка качества. Ростов-н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2016. 171 с.
4. Закруткин В.Е., Холодков Ю.А., Подольский А.Д. Экологические последствия эксплуатации нефтехранилищ в междуречье рек Дон и Сал // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2017. № 6. С. 506-517.
5. Качество поверхностных вод Российской Федерации за 2016 г. Ростов-на-Дону: ФГБУ «Гидрохимический институт», 2017. 555 с.
6. Лурье П. М. Река Дон: гидрография и режим стока / П.М. Лурье, В.С. Панов. Ростов-на-Дону: ООО «Издательский дом», 2018. 592 с.
7. Экологический вестник Дона «О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2018 году». Ростов-на-Дону, 2019.

# ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА ВОДОЕМА И НОРМЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЕГО ВОДНУЮ ЭКОСИСТЕМУ

С.А. Седова, В.В. Дмитриев

*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,  
Россия, spbu@spbu.ru*

До недавнего времени исследования водных объектов развивались под углом зрения оценки продуктивности, качества и токсического загрязнения природных вод, оценки сложных свойств водных объектов (устойчивость, благополучие и др.), а также разработки методов экологической стандартизации, санитарно-гигиенического и, в меньшей степени, системного нормирования воздействий на водные объекты. В настоящее время, акцент исследований постепенно сместился на использование новых обобщений – композитных индексов, разработанных авторами на основе выбранных репрезентативных территориальных детерминант. В итоге реализуется многоуровневое и многокритериальное обобщение информации, учитывающее современные и перспективные приоритеты использования водных объектов человеком (обществом), появляются новые функциональные единицы систем – интегральные показатели подсистем и интегральные показатели последнего уровня свертки, характеризующего целостность системы, которые получили название интегральных или сводных показателей состояния (качества, благополучия и т.п.).

В последние годы актуальными являются исследования по формированию представлений об экологическом статусе (ЭС) и экологическом благополучии (ЭБ) водных объектов и подходов к их оценке.

Предмет исследования в нашей статье – экологический статус водоема в условиях его естественного и антропогенного изменения.

Основной задачей, в рамках исследования, является воспроизведение годового цикла развития водной экосистемы с реализацией некоторого гипотетического варианта воздействия на водную систему, а именно снижения (ухудшения) параметров качества и токсического загрязнения воды и донных отложений. При этом на основе интегральной оценки необходимо оценить изменение экологического статуса на временном интервале исследования и сделать выводы о допустимости (недопустимости) воздействия и о влиянии воздействия на водную экосистему – перейдет ли она в другой класс состояния (качества, благополучия и др.).

*Теоретико-методологические основы исследования.* Под интегральной оценкой будем понимать оценку, учитывающую иерархичность экологических систем, предполагающую наличие этапа, связанного с объединением в одно целое ранее разнородных (многокритериальных) оценок с учетом весомости их вклада в общую оценку [2].

Под экологическом статусом авторами понимается параметрическая оценка состояния водной среды, характеризующая сочетание трофического статуса водоема, качества и токсического загрязнения воды и донных

отложений, и устойчивости к изменению параметров естественного (потенциальная устойчивость) и антропогенного режимов [3].

Первым этапом исследования является оценка трофического статуса водоема. Под трофическим статусом водоема будем понимать разделение водоемов или их отдельных участков по степени кормности (трофности), в зависимости от уровня их первичной продукции [3].

Вторым этапом является оценка качества и токсического загрязнения воды и донных отложений. Под качеством воды мы понимаем сочетание химического и биологического состава и физических свойств воды, определяющее ее пригодность для конкретных видов ее использования человеком (обществом) (антропоцентризм). При биоцентристском подходе в оценке качества воды акцентируется ее пригодность для жизни организмов-гидробионтов. Отметим, что оценка качества и токсического загрязнения воды и донных отложений в рассмотренных примерах проводится по трем группам показателей – гидрофизические, гидрохимические и гидробиологические показатели (рисунок 1).

Одна из важных составляющих оценки ЭС – устойчивость экосистемы, под которой понимается способность системы сохранять свои свойства и параметры режимов в условиях действующих внутренних и внешних возмущений. Разделяют адаптационную (I тип) и регенерационную устойчивость (II тип). В нашем исследовании рассматривается адаптационная устойчивость – способность экосистемы сохранять при внешнем воздействии исходное состояние в течение некоторого времени или переходить из одного состояния равновесия в другое, сохраняя при этом внутренние связи.

Обобщенная схема интегральной оценки экологического статуса водоема приводится на рисунке.

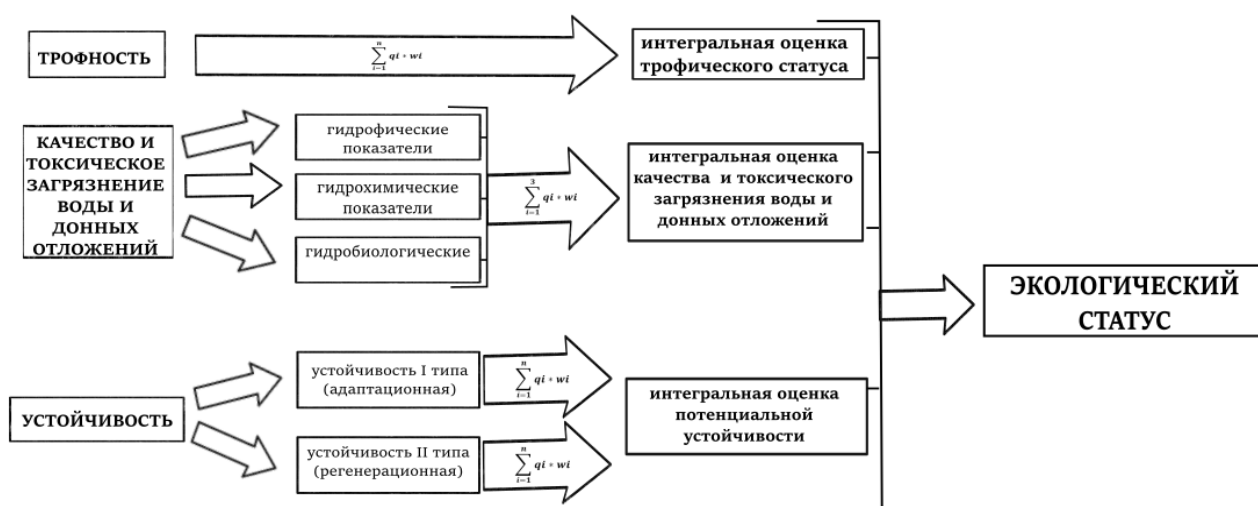


Рисунок – Обобщенная схема интегральной оценки экологического статуса водоема

При оценке ЭС водоема необходимо учитывать, что ЭС должен: 1) характеризовать развитие гидробионтов и функционирование экосистемы водоема (биоцентризм); 2) характеризовать пригодность водоема для

различных целей использования человеком (антропоцентризм); 3) представлять собой параметрическую оценку состояния водной среды, характеризующую продукционный потенциал водоема, качество и токсического загрязнение водной среды и устойчивость водоема к изменению параметров естественного (потенциальная устойчивость) и антропогенного режимов [3]. В результате обобщения вышеприведенных условий, для оценки ЭС нами введены 5 классов экологического статуса водоема – от высокого (I класс) до низкого (V класс). Названия основных классов (высокий, низкий) заимствованы из Европейской Рамочной Водной Директивы [1]. Выбор пяти классов ЭС обосновывается тем, что большинство авторов исходных шкал для трофического статуса, качества и токсического загрязнения вод и донных отложений, устойчивости экосистемы выделяет именно такое количество классов.

Для оценки экологического статуса водоема по литературным обобщениям были разработаны классификации трофического статуса, качества и токсического загрязнения природных вод и донных отложений, устойчивости экосистемы (адаптационной – I тип), основывающиеся на классификациях большого числа авторов. Эти классификации приведены нами в публикациях последних лет.

Для нормирования исходных параметров при построении интегральных показателей первого уровня использовались два вида функций: неубывающая кусочно-степенная функция (1) и невозрастающая кусочно-степенная функция (2).

$$q_i = q_i(x_i) = \begin{cases} 0, & \text{при } x_i \leq \min_i, \\ \left( \frac{x_i - \min_i}{\max_i - \min_i} \right)^l, & \text{при } (\min_i < x_i \leq \max_i), \\ 1, & \text{при } x_i > \max_i, \end{cases} \quad (1)$$

$$q_i = q_i(x_i) = \begin{cases} 1, & \text{при } x_i \leq \min_i, \\ \left( \frac{\max_i - x_i}{\max_i - \min_i} \right)^l, & \text{при } (\min_i < x_i \leq \max_i), \\ 0, & \text{при } x_i > \max_i. \end{cases} \quad (2)$$

В (1), (2):  $q_i$  – преобразованное значение;  $x_i$  – текущее значение;  $\min_i$  – минимальное (фоновое, допустимое, безопасное, предельно-допустимое и т.п.) значение критерия;  $\max_i$  – максимальное значение критерия;  $l$  - показатель степени, отражающий нелинейность связи параметров с оцениваемым качеством. При выборе показателя степени  $l$ , определяющего характер и степень выпуклости нормирующей функции мы используем  $l = 1, 0$ .

Таким образом, исходные критерии в различных шкалах измерения приводятся к безразмерным шкалам, после чего над их значениями можно производить математические действия с целью получения интегрального показателя экологического статуса.

В качестве выражения для интегрального показателя экологического статуса выбиралась линейная свертка показателей вида:

$$Q = Q(q, w) = Q(q_1, \dots, q_m; w_1, \dots, w_m) = \sum_{i=1}^m q_i w_i \quad (3)$$



Выполнение первого и последующих уровней обобщения информации для разработанных классификаций, получение оценочных шкал для интегральных показателей производилось при условии равенства весов исходных параметров. Эти эксперименты являлись первыми, поэтому выбор равновесности характеристик внутри блоков и между ними вполне оправдан.

В результате была проведена серия расчетов значений интегрального показателя экологического статуса с поэтапным снижением (ухудшением) интегрального показателя качества и токсического загрязнения воды и донных отложений (ИПК) относительно начального состояния системы на 10, 30, 50 %.

В статье мы приводим результаты расчета интегральной оценки экологического статуса водного объекта и нормы воздействия на него.

На первых этапах работы были получены шкалы интегральных показателей внутри каждой группы признаков. Ниже приведены оценочные шкалы для последнего уровня свертки (таблица 1), являющиеся результатом двух (трех)-уровневой свертки показателей трофности, качества и токсического загрязнения воды и донных отложений, потенциальной устойчивости водоема.

В оценочной шкале экологического статуса водоема первому (высокому) классу поставлено в соответствие значение  $q_i = 1$ , а пятому (низкому)  $q_i = 0$ .

Таблица 1 – Нормированная шкала экологического статуса водного объекта

Экологический статус	Классы экологического статуса водоема				
	I	II	III	IV	V
	высокий	выше среднего	средний	ниже среднего	низкий
	1-0,845	0,842-0,648	0,644-0,482	0,477-0,271	0,267-0

В таблице 2 приведены рассчитанные значения интегрального показателя экологического статуса для 4-х вариантов расчета: 1 – начальный вариант состояния водной экосистемы; варианты 2, 3, 4 – ухудшение параметров качества и токсического загрязнения воды и донных отложений (ИПК) соответственно на 10 %, 30 % и 50 %. При этом изменения интегрального показателя экологического статуса рассматривались по сезонам года и за вегетационный период (май-октябрь).

При анализе полученных результатов было выявлено, что по результатам расчетов вариантов с воздействием многие сезонные показатели изменили свой класс ЭС. Так, в зимний период, переход системы в другой класс происходит при снижении параметров качества и токсического загрязнения воды и донных отложений на 30 %: система переходит из начального состояния (ИПЭС = 0,547 (III класс, правая граница) в IV класс экологического статуса (ИПЭС = 0,454, левая граница).

Переход системы из III класса в IV класс ЭС в весенний, летний периоды, в том числе также за вегетационный период, происходит при снижении параметров качества и токсического загрязнения воды и донных отложений на 50 %. При этом в осенний период система не изменила своего класса

экологического статуса при ухудшении параметров качества на 50 %, но сместилась ближе к правой границе класса (III класс, ИПЭС = 0,385).

Стоит также отметить, что при ухудшении параметров качества даже на 10 %, уже происходит переход системы внутри самого класса: система смещается ближе к левой границе класса. Это отмечается для весеннего, летнего периода и для периода вегетации. Таким образом, переход системы в другой класс может быть выявлен и при незначительном воздействии, в зависимости от того, как близко система находилась от границы класса до оказанного воздействия.

Таблица 2 – Результаты оценивания нормы воздействия на водную экосистему

Период времени	Интегральный показатель экологического статуса			
	Начальное состояние водной экосистемы	Ухудшение параметров качества и токсического загрязнения воды и донных отложений на 10 %	Ухудшение параметров качества и токсического загрязнения воды и донных отложений на 30 %	Ухудшение параметров качества и токсического загрязнения воды и донных отложений на 50 %
Зимний период	<u>0,547</u> IIIп	<u>0,516</u> IIIп	<u>0,454</u> IVл	<u>0,393</u> IVл
Весенний период	<u>0,569</u> IIIл	<u>0,531</u> IIIп	<u>0,470</u> IIIп	<u>0,408</u> IVл
Летний период	<u>0,584</u> IIIл	<u>0,547</u> IIIп	<u>0,486</u> IIIп	<u>0,425</u> IVл
Осенний период	<u>0,542</u> IIIп	<u>0,508</u> IIIп	<u>0,446</u> IIIп	<u>0,385</u> IIIп
Вегетационный период (май-октябрь)	<u>0,564</u> IIIл	<u>0,533</u> IIIп	<u>0,472</u> IIIп	<u>0,411</u> IVл

Рассмотрено интегративное свойство водного объекта – его «экологический статус». Путем обобщения теоретико-методологических и методических возможностей интегрального оценивания экологического статуса водных объектов рассчитаны интегральные показатели экологического статуса для водоема. Выполнена серия расчетов по оценке воздействия на систему при гипотетическом воздействии на водоем, повлекшем изменение состояния его водной экосистемы, выразившемся в поэтапном снижении интегрального показателя качества и токсического загрязнения воды и донных отложений на 10, 30, 50 % от начального. Авторы понимают условность рассмотрения таких оценочных гипотетических сценариев. В данной работе нам важно было показать, что водоем на сезонном или годовом интервале развития водной экосистемы при внешнем воздействии на него может перейти в другой класс экологического статуса. В последующих публикациях нами на основе этой же методики будут получены оценки изменения интегральных показателей экологического статуса реального водоема на основе мониторинговых данных

или результатов имитационного моделирования годового цикла развития его водной экосистемы, отражающие увеличение поступления в водоем биогенных элементов и/или токсикантов.

*Исследование проведено при поддержке гранта РФФИ №19-05-00683 А.*

#### Список литературы

1. Александрова Л.В., Васильев В.Ю., Дмитриев В.В., Мякишева Н.В., Огурцов А.Н., Третьяков В.Ю., Хованов Н.В. Многокритериальные географо-экологические оценки состояния и устойчивости природных и урбанизированных систем. ВИНТИ 2342V00, 2000 г. URL: <https://clck.ru/G5sC2> (дата обращения: 17.05.2019).
2. Седова С.А., Дмитриев В.В. Разработка методики интегральной оценки экологического статуса водоемов на примере малых озер северо-западного Приладожья // European Journal of Natural History. ООО ИД «Академия Естествознания», 2020. №1. С. 37-44.
3. 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. P. 1-73.

# АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕК БАССЕЙНА СЕВАН С ПОМОЩЬЮ АРМЯНСКОГО ИНДЕКСА КАЧЕСТВА ВОДЫ

Г.С. Симонян, А.Г. Симонян, Г.П. Пирумян  
*Ереванский государственный университет, Ереван, Армения*  
*sim-gev@mail.ru*

Разработка методов оценки качества воды с помощью условных показателей, комплексно учитывающих различные свойства поверхностных вод, является важной проблемой. Для оценки степени загрязненности воды используются комплексные показатели, которые позволяют количественно оценить загрязненность воды одновременно по широкому перечню показателей качества. В Армении для оценки качества поверхностных вод используются Индекс загрязнения воды (ИЗВ), Канадский индекс качества воды (КИКВ) и Удельно-комбинаторный индекс качества воды (УКИКВ) [1, 6]. Следует отметить, что большинство разработанных к настоящему времени комплексных характеристик состояния водных объектов так или иначе связано с существующими предельно допустимыми концентрациями (ПДК). В последние годы для комплексной оценки качества поверхностных вод нами предлагался энтропийный индекс качества воды (ЭИКВ) и Армянский индекс качества воды (АИКВ) [3, 9, 10].

С использованием индексов ЭИКВ и АИКВ была проведена комплексная оценка качества поверхностных вод [2, 9, 10] и сделан структурный анализ состояния биологических систем на уровне белков, рибонуклеиновой кислоты, клетки [3, 4] и структурный анализ состояния деревьев [11].

*Целью данной работы является оценка качества воды рек бассейна Севан Дзкнагет, Сотк, Масрик, Варденис, Мартуни, Аргичи и Гаварагет с помощью Армянского индекса качества воды (АИКВ).*

В гидроэкологических системах могут идти процессы как с возрастанием, так и с уменьшением энтропии. Впервые понятия энтропия и информация связал Шеннон [5]. С его подачи энтропия – это количество информации, приходящейся на одно элементарное сообщение источника, вырабатывающего статистически независимые сообщения. Информационная энтропия для независимых случайных событий  $x$  с  $N$  возможными состояниями рассчитывается по формуле

$$H = - \sum_{i=1}^N p_i \log_2 p_i$$

где:  $p_i$  – вероятность частоты встречаемости некоторого события.

Впервые для оценки степени структурированности биоценозов в работах [7, 8] использовано общее уравнение энтропии Шеннона. В результате этих работ большое распространение и повсеместное признание получил индекс Шеннона  $H$ , иногда называемый информационным индексом разнообразия Шеннон [5]:

$$H = -\sum n_i / N \log_2 (n_i / N).$$

Загрязненность водных систем можно представить как систему тех гидрохимических показателей (элементов), концентрация которых превышает ПДК. Тогда в уравнении Шенона  $p_i$  – вероятность числа случаев превышения ПДК  $i$ -го вещества или показателя воды из общей суммы случаев превышения ПДК  $-N$ ,  $P_i = n_i / N$ .

$$H = \log_2 N - \sum n \log_2 n / N,$$

$$H = \log_2 N - I,$$

$$I = \sum n \log_2 n / N,$$

$I$  - геоэкологическая синтропия [9].

Для расчета значений  $I$ ,  $H$ , ЭИКВ и АИКВ пользуемся следующим вычислительным алгоритмом:

1. Определяются числа случаев превышения ПДК  $i$ -го вещества или показателя воды –  $n$ .

2. Оценивается общая сумма случаев превышений ПДК ( $N$ ) –  $N = \sum n$ .

3. Вычисляются  $\log_2 N$ ,  $n \log_2 n$  и  $\sum n \log_2 n$ .

4. Рассчитывается геоэкологическая синтропия ( $I$ ) и энтропия ( $H$ ):

$$I = \sum n \log_2 n / N \text{ и } H = \log_2 N - I.$$

5. После чего определяется ЭИКВ:  $G = H/I$ .

6. Далее оценивается общая сумма кратности превышений ПДК ( $M$ ) –  $M = \sum m$ .

7. Вычисляется  $\log_2 M$ .

8. Определяется Армянский индекс качества воды:  $АИКВ = G + 0.1 \log_2 M$ .

Река Дзкнагет расположена на восточных склонах гор Памбак и в 1 км к югу от Цовагюга в северо-западном углу озера Севан. Длина 22 км. На реке Дзкнагет расположено два мониторинговых поста: № 60 – 0,5 км ниже с. Семеновка и № 61 – в устье реки. Река Масрик начинается со склонов восточных севанских гор и тянется к озеру Севан на севере села Цовак. Длина 45 км. Мониторинговый пост № 63 – устье реки. Река Сотк (Зод) начинается с западных склонов восточного севанского хребта на высоте 2670 м. Длина 21 км. Два поста мониторинга № 64 – 0,5 км выше шахты и № 65 – в устье реки. Река Варденис начинается с северных склонов центральной части Варденисского хребта, на высоте 3215 метров. Длина 28 км. Мониторинговый пост № 70 – в устье реки. Река Мартуни начинается с северных склонов хребта Варденис, на высоте 3300 метров. Длина 27,6 км. Два поста мониторинга, № 71 – 0,5 км от вершины Гегаховит и № 72 – в устье реки. Река Аргичи берет свое начало с северного склона горного хребта Гндасар горного хребта Гегама, на высоте 2600 метров. Длина 51 км. Пост наблюдения № 74 – устье реки. Река Гаварагет начинается с северного склона горного хребта Гегама, на высоте 3050 метров и впадает в озеро Севан. Протяженность 50 км. Два поста мониторинга, № 77 – в 0,5 км от вершины села Цахкван и № 78 – в устье реки.

Установлено, что в воде р. Масрик регулярно превышаются концентрации ионов нитрита, что обусловлено загрязнением воды бытовыми сточными водами. Показано, что воды р. Масрик загрязнены также некоторыми металлами. Так, в речной воде регулярно превышает ПДК хрома, ванадия и

алюминия. Например, в посту № 63 для  $\text{NO}_2^-$ , V, Al и Cr число случаев превышения ПДК соответственно 4, 11, 10 и 3 раз. Сумма случаев превышений ПДК –  $N = 28$ ,  $\sum n \log_2 n = 83,95$ ,  $I = 83,95/28 = 2,998$ ,  $H = \log_2 28 - 2,998 = 1,806$ ,  $G = 1,806/2,998 = 0,604$ . Общая сумма кратности превышений ПДК –  $M = \sum m = 14,9$ ,  $\log_2 M = 3,895$ ,  $A = 0,604 + 0,389 = 0,993$  (таблица 1)

Таблица 1 – Энтропийный и Армянский индексы качества воды р. Масрик и Сотк

Река	Масрик		Сотк	
Посты	63		65	
Показатели	$n$	$n \log_2 n$	$n$	$n \log_2 n$
$\text{NO}_2^-$	4	8	10	0
Al	10	33,2	10	33,2
V	11	38	10	33,2
Cu	0	0	5	11,6
Mn	0	0	0	0
Cr	3	4,75	6	15,5
N	28		31	
$\sum n \log_2 n$	83,95		93,5	
I	2,998		3,016	
H	1,806		1,935	
EQWI	0,604		0,642	
$M = \sum m$	14,9		11,1	
$\log_2 M$	3,895		3,471	
AQWI	0,993		0,989	

Качество вод р. Дзкнагет, Сотк, Масрик, Варденис, Мартуни, Аргичи и Гаварагет комплексно оценено также с помощью других индексов качества воды: ИЗВ, ЭИКВ, КИКВ и УКИКВ (таблица 2). Установлено, что АИКВ имеет прямолинейную зависимость от ИЗВ, УКИКВ, ЭИКВ и обратную зависимость от КИКВ.

Таблица 2 – Индексы качества воды р. Дзкнагет, Сотк, Масрик, Варденис, Мартуни, Аргичи и Гаварагет

Индексы	ЭИКВ	АИКВ	ИЗВ	КИКВ	УКИКВ
60	0,415	0,650	0,77	90,38	0,8
61	0,856	1,208	0,92	83,98	1,48
63	0,604	0,993	2,21	78,71	1,74
64	0,321	0,559	0,64	88,74	1,31
65	0,642	0,989	1,2	75,25	1,86
70	0,370	0,625	0,82	90,63	1,20
71	0,625	0,899	0,66	90,52	0,68
72	0,333	0,584	0,95	86,62	1,40
74	0,303	0,603	1,51	81,7	1,04
77	0,955	1,325	1,62	83,8	1,38
78	0,625	1,077	3,86	70,14	2,15

$$\begin{aligned} \text{АИКВ} &= (0,196 \pm 0,060) + (1,217 \pm 0,095) \cdot \text{ЭИКВ}, R^2 = 0,97914, N=9 \\ \text{АИКВ} &= (0,717 \pm 0,142) + (0,127 \pm 0,085) \cdot \text{ИЗВ}, R^2 = 0,46584, N=9 \\ \text{АИКВ} &= (0,539 \pm 0,287) + (0,251 \pm 0,196) \cdot \text{УКИКВ}, R^2 = 0,41219, N=9 \\ \text{АИКВ} &= (2,685 \pm 0,957) - (0,021 \pm 0,011) \cdot \text{КИКВ}, R^2 = 0,55362, N=9 \end{aligned}$$

Таким образом, впервые с помощью АИКВ оценено качество воды р. Дзкнагет, Сотк, Масрик, Варденис, Мартуни, Аргичи и Гаварагет. Установлена корреляция между АИКВ и другими индексами качества воды.

#### Список литературы

1. Никаноров А.М. Научные основы мониторинга качества воды. Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 2005. 577с.
2. Пирумян Г., Пирумян Э., Симонян Г., Симонян А. Метод определения уровня загрязнения воды. Патент РА № 3063А (2016) (на армянском).
3. Симонян Г.С., Симонян А.Г. Энтропийный подход к оценке хаоса и порядка биологических систем // Успехи современного естествознания. 2015. №9. С.100-104.
4. Симонян Г.С. Хаос и порядок биологических систем в свете синергической теории информации // Современные проблемы химической физики / Матер. межд. конференции, г. Ереван. Ереван, 2012. С.227-228.
5. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. М.: ИЛ, 1963. 830 с.
6. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения: в 2-х кн. М.: Наука, 2005. Кн. 1. 281 с.
7. MacArthur R.M. Fluctuation of animal populations and measure of community stability // Ecology. 1955. Vol. 36. №3. P.533-536.
8. Margalef R. Information theory in ecology // Gen. Syst. 1958. V. 3. P. 36.
9. Pirumyan G.P., Simonyan G.S., Margaryan L.A. Geocological Evaluational Integrating Index of Natural Waters and other Systems. Yerevan: Copy Print LTD, 2019. 244 p.
10. Simonyan G.S., Simonyan A.G., Pirumyan G.P. Systemic-entropy approach for estimating the water quality of a river // Oxidation Communications. 2018. V. 41. № 2. P.307-317.
11. Simonyan G.S., Simonyan A.G., Sayadyan M.L., Sarsekova D.N., Pirumyan G. P. Analysis of Environmental Status of Wood and Shrub Vegetation by the Armenian Index of Environmental Quality // Oxidation Communications 2018. V. 41. № 4. P.533-541.

# РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОБЩЕГО И АНТРОПОГЕННОГО СТОКА БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ РЕК РОССИИ

М.П. Смирнов

*Гидрохимический институт, Ростов-на-Дону, Россия, info@gidrohim.com*

На базе результатов наблюдений Госкомгидромета СССР и Росгидромета (с 1991 г.) в 1936-2015 гг. впервые выполнены экспериментальные исследования стока органических веществ и биогенных элементов, их антропогенной составляющей, выявлены пространственно-временные тенденции изменения в связи с природно-техногенными факторами формирования в речных, морских, океанических бассейнах России и сопредельных стран.

В составленной с участием автора серии годовых и сезонных гидрохимических карт, опубликованных в сб. «Гидрохимические материалы» и Гидрохимическом атласе СССР, помещены карты среднегодового стока органических веществ и биогенных элементов рек СССР, модулей стока органических веществ, внутригодового распределения выноса органических веществ.

В данной статье приведены фациальные особенности общего и антропогенного стока биогенных элементов (БЭ) и органических веществ (ОВ) рек Арктического, Тихоокеанского, Атлантического, Каспийского бассейнов за 1981–2015 гг.

*Арктический бассейн.* Материковый сток в Арктическом бассейне имеет следующие основные фациальные особенности:

- наибольший в стране сток БЭ и ОВ (37-80 %) от выноса этих компонентов с территории России;

- многократное превышение речного стока восстановленных форм азота над окисленными в бассейне Карского моря (в 7 раз), меньшее преобладание в слабее заболоченных бассейнах морей Лаптевых (в 1,5 раза), Восточно-Сибирского (в 1,3 раза), Белого и Баренцева (в 1,1 раза); в речных бассейнах эти соотношения существенно больше;

- сток нитратного азота значительно ниже выноса общего железа (от двукратного до порядка и часто выше), что также характерно для тихоокеанского бассейна; в атлантическом и каспийском бассейнах сток нитратного азота, наоборот, многократно больше общего железа;

- высокий сток легкоокисляемых фракций ОВ: на равнинах 43-48 % общего стока аквагумуса, в горах с тундрово-арктическими (62 %), тундрово-таежными (50 %), лесо-луговыми (41 %) типами вертикальной поясности;

- положительные естественные и природно-техногенные аномалии стока восстановленных и окисленных форм азота, ОВ, соединений железа, фосфора, кремния, образующие различные комплексы аномалий массопереноса;



- максимальные в РФ положительные и естественные аномалии стока бескислородных соединений азота, минерального и общего фосфора, ОВ, железа в Карском регионе;

- отрицательные естественные аномалии стока нитритного азота в ряде речных бассейнов восточной и западной ветвей арктических морей;

- за изученный период р. Енисей имела лидирующую позицию в РФ по стоку ОВ, кремния, третью – по выносу аммонийного азота, четвертую – по переносу общего железа, минерального и общего фосфора; р. Обь занимала первое место по стоку аммонийного азота, общего железа, минерального и общего фосфора, второе – по переносу ОВ, кремния, третье – по экспорту нитратного азота; р. Лена находилась на втором месте по стоку общего железа, на третьем – по выносу ОВ, кремния, на четвертом и пятом – по переносу аммонийного и нитратного азота; реки Печора, Колыма, Северная Двина входили в первую десятку по стоку аммонийного азота, соединений фосфора, общего железа, ОВ, кремния;

- вследствие техногенного прироста выноса минерального азота, минерального и общего фосфора, общего железа, БЭ существенно уменьшились отношения стока  $Si/N_{\text{мин}}$  в реках Анабар, Яна, Колыма;  $Si/Fe_{\text{общ}}$  – в реках Пур, Анабар, Мезень, Печора, Яна; ОВ/БЭ – в реках Енисей, Обь, Таз, Яна, Пур, Надым, Лена;

- антропогенная слагаемая (АС) стока нитратного азота, составлявшая в различных реках от 12 % до 91 % всего стока, увеличилась реками Колыма, Печора на порядок, Индигирка в 1,5 раза; уменьшилась р. Северная Двина вдвое; АС стока минерального и общего фосфора, изменявшаяся в интервале 11 – 94 % всего выноса, возросла реками Печора в 7 и 1,3, Лена – втрое ( $P_{\text{общ}}$ ), Индигирка и Колыма – 2,6 и 4 ( $P_{\text{общ}}$ ), Яна – 2,6 ( $P_{\text{общ}}$ ), Енисей – 1,2 раза ( $P_{\text{мин}}$ ); сократилась реками Обь впятеро, Енисей – 2,4 ( $P_{\text{общ}}$ ), Колыма – 6,8 ( $P_{\text{мин}}$ ), Индигирка – 1,8 раза ( $P_{\text{мин}}$ ); ТС – техногенная слагаемая стока ОВ, варьировавшая в пределах 5-46 % общего выноса, реками Обь, Надым, Пур, Лена повысилась от отрицательных до значительных положительных величин; уменьшилась реками Мезень в 4,5, Северная Двина – 3 (в 1996-2000 гг.), Енисей – 3,2 раза, Колыма – от положительных до отрицательных значений. В ряде рек, включая самые крупные, отмечены развитые процессы формирования антропогенного стока нитратного азота, минерального и общего фосфора, ОВ, тенденции которого сильно зависят от уровня региональной экономики.

*Тихоокеанский бассейн.* Региональные особенности стока растворенных веществ в Тихоокеанском бассейне:

- второй по количеству среднемноголетний сток соединений БЭ и ОВ после бассейна Северного Ледовитого океана (12-24 % от их стока с территории России);

- значительный вынос легкоокисляемых фракций ОВ реками таежно-лесных районов (39-43 %), реками гор с лесо-луговыми (41 %), тундрово-таежными (50 %), тундрово-арктическими (62 %) типами вертикальной поясности;

- многократное преобладание стока реками бескислородных соединений азота над окисленными в бассейнах морей Берингова, Охотского; только в

стоке минерального азота реками Камчатка и Поронай окисленные формы превышали неокисленные;

- сток общего железа реками, как и в Арктическом бассейне, гораздо выше выноса нитратного азота (от 2 раз до порядка); в бассейнах Атлантических и Каспийского морей, напротив, сток нитратного азота больше выноса общего железа впятеро и вдвое;

- развитые положительные естественные и природно-техногенные аномалии стока аммонийного, нитратного, нитритного азота, общего железа, ОВ, минерального и общего фосфора, образующие сложный комплекс аномалий массопереноса в южной освоенной части Тихоокеанского бассейна;

- резкое увеличение положительных антропогенных и природно-техногенных аномалий стока соединений минерального азота, минерального и общего фосфора в среднем и нижнем течении р. Амур вследствие интенсивно нараставшего трансграничного переноса большого количества загрязняющих веществ р. Сунгари с северо-восточной территории Китая;

- отрицательные естественные аномалии стока нитритного азота в северной части Тихоокеанского бассейна;

- уникальный гидрохимический сток р. Камчатка в вулканическом регионе, отличающийся очень высоким среднеголетним выносом кремния (270 тыс. т.), значительно превосходящим сток этого элемента многими гумидными реками; редким, даже во влажных районах АТР, высоким преобладанием выноса нитратного азота над аммонийным (в 4 с лишним раза); максимальным в стране отношением стока  $Si/N_{\text{мин}}$  (более 80), многократно превышающим аналогичные показатели всех рек; наибольшим отношением стока  $Si/Fe_{\text{общ}}$  (около 30); минимальными в РФ отношениями стока  $N_{\text{мин}}/P_{\text{мин}}$  (2,2) и ОВ/БЭ (0,59);

- за многолетний период р. Амур занимала второе место по стоку аммонийного азота, минерального и общего фосфора (после р. Обь), нитратного азота (за р. Волга), в последнем рассматриваемом пятилетии вышла на ведущую позицию, превосходя р. Волга втрое, четвертое – по выносу ОВ (после рек Енисей, Обь, Лена);

- техногенная слагаемая стока нитратного азота, составлявшая в различные пятилетние периоды 29 – 91 % всего выноса, по сравнению с 1981-1985 гг. увеличилась реками Амур, Анадырь многократно, Тауй – 1,3 раза; АС стока минерального и общего фосфора, изменявшаяся от 34 % до 87 %, возросла реками Анадырь впятеро (за изученные периоды), р. Амур – вдвое (в 2000-е гг.), в 2011-2015 гг. сократилась; ТС стока ОВ, колебавшаяся от 22 % до 48 % всего стока аквагумуса, повысилась вдвое.

Вследствие общности природных и экономических факторов формирования основные показатели материкового стока в бассейнах Тихого и Северного Ледовитого океанов идентичны.

*Атлантический бассейн.* Терригенный массоперенос в Атлантическом бассейне имеет следующие региональные особенности:

- высокий сток нитратного и нитритного азота, ОВ, минерального и общего фосфора (5-21 %), гораздо меньший вынос кремния, аммонийного азота, общего железа (1-2 %) от их выноса с территории России;

- многократное превышение стока нитратного азота над аммонийным (в морских бассейнах от 4 до 6, в реках – от 2 до 16 раз);

- пятикратное преобладание стока нитратного азота относительно общего железа; многократное превосходство по соотношению выноса  $N_{\text{мин}}/P_{\text{мин}}$  по сравнению с большинством рек страны; одни из самых низких отношений стока  $Si/N_{\text{мин}}$  (2,0);

- наибольшая доля минерального азота в биогенном стоке (до 30 %), в 2 и 4 раза выше этого показателя в тихоокеанском и арктическом бассейнах;

- по стоку нитратного азота реки Нева, Кубань, Дон входили в первую десятку рек РФ;

- доля нитритного азота в суммарном выносе минеральных форм в Атлантическом бассейне (3,2 %) одинакова с долей в Тихоокеанском бассейне (3 %), вдвое больше по сравнению с Арктическим бассейном (1,5 %) и меньше, чем в Каспийском бассейне (6 %);

- на легкоокисляемые фракции в стоке общего аквагумуса приходится в бассейне Балтийского моря 43 %, в бассейнах Черного и Азовского морей – 36-39 %, что меньше показателей большинства гумидных рек;

- трансграничный перенос р. Северский Донец составляет 30 % и более от стока БЭ и ОВ р. Дон.

- развитые многолетние положительные антропогенные и природно-техногенные аномалии стока нитратного и нитритного азота, минерального и общего фосфора, ОВ наибольшего возраста (реки Нева, Кубань, Дон, Луга, Преголя, Сочи);

- антропогенная слагаемая стока нитратного азота, составлявшая в различные периоды 27-93 % всего стока, увеличилась реками Кубань и Сочи в 4 и 2 раза; АС стока минерального фосфора, изменявшаяся в пределах 18-92 %, возросла р. Нева вдвое, р. Дон была стабильной, остальными реками снизилась вдвое; ТС стока общего фосфора колебавшаяся в диапазоне 30-92 %, р. Кубань увеличилась в 1,7 раза, р. Нева не изменилась, остальными реками уменьшилась в 2-3 раза; АС стока ОВ, составлявшая 20-72 %, возросла р. Луга многократно, реками Дон, Кубань – в 1,5 раза, понизилась реками Преголя и Сочи в 4 и 2 раза;

- эволюция естественных экосистем в природно-антропогенные вследствие длительного интенсивного техногенного воздействия на речные и морские бассейны, водные ресурсы, терригенный сток, непрерывно умножаемого возрастающим привносом вещества и энергии из глобальных, региональных и локальных водных и воздушных потоков.

*Каспийский бассейн.* Фациальные особенности стока биогенных и органических веществ в бассейне Каспийского моря:

- значительный сток реками в море нитратного и нитритного азота (25 %), минерального и общего фосфора, ОВ, кремния (11 %), меньший – общего железа, аммонийного азота (4 %) от их стока с территории РФ;

- многократное превышение стока нитратного азота над аммонийным (Каспийский бассейн в 6, реки Терек – 7, Волга – 6,4, Кума – 3, Урал – 2,2 раза);

- среднесуточный вынос нитратного азота существенно выше стока общего железа (морской бассейн в 1,5, реки Урал – 9, Терек – 4, Кума – 1,5, Волга – 1,3 раза), что сходно с атлантическими реками; в арктических и тихоокеанских реках это соотношение обратное, т. е. сток общего железа реками АТР гораздо больше переноса нитратного азота;

- многократное превосходство над большинством рек страны по соотношению стока  $N_{\text{мин}}/P_{\text{мин}}$  (морской бассейн – 13, реки Терек – 34, Кума – 24, Урал – 20, Волга – 10);

- высокая доля минерального азота в биогенном стоке (морской бассейн – 13 %, реки – 11-28 %);

- максимальная доля нитритного азота в суммарном выносе минеральных форм в Каспийском бассейне – 6 %; она в 2-4 раза ниже, чем в Арктическом (1,5 %), Тихоокеанском (3 %), Атлантическом (более 3 %) бассейнах;

- многолетние весьма развитые положительные антропогенные и природно-техногенные аномалии речного стока нитратного и нитритного азота, минерального и общего фосфора, ОВ;

- доля легкоокисляемых органических веществ в стоке реками ОВ составляла от 36-39 % на аридных водосборах до 41-43 % в гумидных районах;

- многолетняя лидирующая позиция р. Волга по стоку нитратного, нитритного азота, третье место по выносу минерального и общего фосфора, пятое – по переносу ОВ, кремния; вхождение р. Терек в первую десятку рек страны по экспорту нитратного азота;

- антропогенная слагаемая стока реками нитратного азота, составлявшая в различные периоды от 9 % до 92 % всего переноса элемента, в 2000-е гг. увеличилась реками Урал и Терек в 1,7 и 1,1 раза; АС выноса минерального и общего фосфора, колебавшаяся от 15 % до 83 %, в бассейнах большинства каспийских рек имела в основном положительную динамику, в р. Волга возросла в пять раз; ТС стока ОВ, варьировавшая в пределах 20-67 %, повысилась р. Волга за три периода в 1,3 раза, реками Терек и Урал в последний изученный период понизилась в пять раз и вдвое. Антропогенный сток БЭ и ОВ, как и в Атлантическом бассейне, имеет максимальный возраст, соизмерим с естественным выносом компонентов;

- эволюция естественных экосистем в природно-антропогенные, как и в Атлантическом бассейне, вследствие длительного интенсивного техногенного воздействия на водопитающие бассейны, водные ресурсы, материковый сток, непрерывно приумножаемого возрастающим поступлением вещества и энергии из глобальных, региональных, локальных водных и воздушных потоков.

В целом генезис, структура, аномалии общего, естественного и антропогенного речного стока БЭ и ОВ в бассейнах Каспийского, Балтийского, Черного и Азовского морей аналогичны вследствие близости их природных и экономических условий.

## О ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ РЕШЕНИЯХ В ЭКОСИСТЕМНОЙ ОЦЕНКЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ И МОНИТОРИНГЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

М.М. Трофимчук

*ФГБУ «Гидрохимический институт», Ростов-на-Дону, Россия,  
m.trofimchuk@gidrohim.com*

Начиная с середины прошлого века, когда стало очевидным, что невозможно контролировать тысячи вновь создаваемых химических веществ, попадающих в водные экосистемы, а также прогнозировать их влияние на основе гидрохимических методов, возникла необходимость напрямую оценивать воздействие поллютантов на водные экосистемы. При организации системы мониторинга изначально устанавливалась необходимость не только наблюдений за источниками и факторами антропогенных воздействий, но прежде всего за реакцией биологических систем на эти воздействия [4]. Появилось множество методов и подходов оценки состояния водных экосистем на основе отклика отдельных биотических структур. Однако при этом игнорировалось представление об экосистеме как целостной живой системе, обладающей эмерджентными свойствами, не являющимися простой суммой свойств составляющих ее элементов. Это и явилось причиной того, что ни один из этих подходов не только не позволяет спрогнозировать эволюцию экосистем в условиях антропогенного воздействия и предложить адекватные способы управления и эксплуатации, но даже сделать корректную объективную оценку их состояния.

В то же время в программы биологического мониторинга были включены по сути интегральные экосистемные показатели – первичная продукция и деструкция органического вещества [15]. Однако два обстоятельства, на наш взгляд, не способствовали широкому устойчивому применению этих показателей в практике биологического мониторинга. Первое – приравнивание показателей, отражающих функционирование экосистемы, к частным, в основном структурным, показателям «состояния» отдельных биотических структур. По сути, игнорирование очевидного свойства процессов фотосинтетического продуцирования и деструкции органического вещества естественным образом интегрировать и отображать все многообразие биотических взаимодействий и абиотических компонентов, образующих экосистему. Второе – организационно-технические трудности реализации метода практически в условиях полевого эксперимента.

Несмотря на это нам представлялось очевидным, что именно продукционно-деструкционный подход позволяет описать состояние экосистем параметрами, выраженными в термодинамических терминах, в свою очередь, полагая, что решение проблемы интегральной экологической оценки состояния водных объектов лежит в области термодинамики с ее макроскопическими подходами в описании сложных самоорганизующихся систем. Маргалеф Р. подчеркивал, что экосистемы обладают свойствами и направлениями развития физических систем и предлагал исследовать экосистемы на основе

ограничений, предопределяемых законами термодинамики, полагая, что прогнозирование может быть основано только на термодинамических соображениях. «Стратегия развития вынуждена считаться с ограничениями физического мира, связанными со строением пространства и законами термодинамики. Однако на таких физических ограничениях основывается созидательная способность природы» [9]. Такой подход предоставляет возможность выявить в динамике экосистем фундаментальные особенности, характерные для открытых самоорганизующихся систем, основные закономерности функционирования и критерии эволюции состояний которых в значительной мере известны [2-3,6-7,13].

В последние десятилетия проявилось понимание актуальности термодинамических подходов в исследовании водных экосистем и предложен ряд решений в оценке их состояния. Этому способствовали многочисленные теоретические разработки и практические исследования С. Йоргенсена и его коллег [17-23]. Оставляя за рамками этой статьи обсуждение преимуществ и недостатков в использовании эксергии в изучении водных экосистем, отметим, что нам представляется более рациональным и перспективным для широкого внедрения в практику мониторинга энтропийный подход. Следует к тому же подчеркнуть, что два этих показателя взаимосвязаны и могут быть получены в рамках продукционно-деструкционных исследований [24]. Теоретическое обоснование тождественности скорости изменения отношения деструкции к продукции удельной диссипативной функции позволило опираться в исследовании функционирования водных экосистем на теорему Пригожина о минимуме производства энтропии [10]. Исследование динамики продукционно-деструкционных процессов в такой интерпретации показало применимость основных закономерностей функционирования открытых физических систем (диссипативных структур) для описания качественного состояния водных экосистем [11].

В Гидрохимическом институте на протяжении более двадцати лет проводились натурные экспериментальные исследования по изучению функционирования водных экосистем при воздействии загрязняющих веществ. В экспериментах, в частности, в качестве обобщенных термодинамических параметров состояния экосистем исследовались интенсивность фотосинтетического продуцирования и деструкции органического вещества в процессе воздействия на природные модели различных загрязняющих веществ.

Анализ динамики продукционно-деструкционных процессов проводили в трехмерном фазовом пространстве  $\{\Delta(R/P)\Delta t^{-1} - R/P - |Vi|\}$ , где  $P$  – валовая первичная продукция,  $R$  – деструкция,  $|Vi|$  – модуль вектора,  $\Delta t$  – время. Вектор  $Vi$  определялся в параметрическом  $R$ - $P$  пространстве как вектор, выходящий из начала координат в центр стационарной области (центр аттрактора). Модуль вектора рассчитывали как векторную сумму среднеарифметических значений  $P$  и  $R$ , принадлежащих стационарному состоянию экосистемы. Стационарное состояние определялось в проекции -  $\{\Delta(R/P)\Delta t^{-1} - R/P\}$ .

Анализ фазовых портретов модельных и материнских экосистем позволил установить ряд закономерностей функционирования водных экосистем,

неизвестных ранее. В частности, выявлено, что водным экосистемам внутренне присуще функционирование с регулярной сменой режимов: стационарные состояния, характеризуемые минимальными значениями скорости изменения отношения деструкции к продукции, перемежаются нестационарными режимами с резким возрастанием величин  $R/P$  и  $\Delta(R/P)\Delta t^{-1}$ . То есть экстремально высокие значения продукции, деструкции или их соотношения могут встречаться при исследовании экосистем, не подверженных каким-либо негативным воздействиям и являются результатом процессов саморазвития экосистемы при изменении ее состояния. Поэтому отдельные значения  $R/P$ , рассматриваемые вне общей динамики процесса, не могут являться индикатором негативных воздействий и признаком патологии. Таким образом, возникает необходимость различать не только патологию и норму функционирования, но и оптимум функционирования экосистемы, когда она находится в стационарном состоянии, а параметры состояния в области аттрактора оптимального состояния. Эта особенность функционирования водных экосистем позволяет точнее определять состояние «здоровья» и патологии экосистемы, а, следовательно, принимать более обоснованные управленческие решения.

Установлено, что стационарные состояния водных экосистем вероятны в довольно узких пределах значений отношения деструкции к продукции. Области фазового пространства, лежащие в этих пределах, выступают в качестве аттракторов. В экспериментах были выявлены две таких области, свидетельствуя о возможности бистабильного существования водных экосистем. При этом аттрактор, формировавшийся в результате негативного воздействия, существовал непродолжительное время, и после снятия нагрузки параметры экосистемы возвращались к исходным значениям  $R/P$ , как правило, равным 0,6 – 0,8. Эта закономерность открывает возможность прогнозирования состояния экосистем.

Выявлена связь между уровнем токсического воздействия, фазовым объемом и типом аттракторов. Под воздействием внешних факторов фазовый объем аттракторов уменьшается (уплотняется) пропорционально силе воздействия и, в случае превышения уровня воздействия выше критического значения, происходит изменение режима функционирования экосистем, а аттракторы формируются в другой области фазового пространства, при этом фазовый объем тем меньше, чем сильнее воздействие. Переход экосистем из одного состояния в другое происходит не плавно, а скачкообразно в моменты бифуркации при резком изменении направления фазовой траектории, благодаря чему можно отчетливо регистрировать переход экосистемы из одного состояния в другое, что позволяет устанавливать пороговые уровни воздействия на водные экосистемы.

Анализируя реакции экосистем, находящихся в различных исходных состояниях (режимах функционирования) в момент токсического воздействия, установили, что они могут существенно различаться, а устойчивость экосистем зависит от их удельной метаболической мощности, которая определяется как работа, выполняемая экосистемой в единицу времени для создания и

поддержания единицы биомассы, т.е. величина  $\Delta(R/P)\Delta t^{-1}$  [12]. Зависимость реакции экосистем от их состояния в момент внешнего воздействия предполагает, что допустимые токсические нагрузки в разные периоды существования экосистем могут различаться на порядки. Эксплуатация водных объектов без учета особенностей режима функционирования экосистем может иметь непредсказуемые негативные последствия. В то же время знание закономерностей функционирования водных экосистем позволяет организовать более щадящий режим сброса сточных вод даже при неизменности суммарной нагрузки.

Установлена зависимость реакции водных экосистем не только от величины, но и от режима воздействия. Многократные токсические нагрузки оказывают более сильное воздействие, чем такие же по суммарной величине однократные.

Выявлена немонотонная зависимость реакции модельных экосистем на токсическое воздействие, проявляющаяся в чередовании сжатия-расширения фазового объема аттракторов при монотонном увеличении токсических нагрузок в импактных мезокомах.

Выявленные закономерности позволяют адекватно оценивать состояние экосистем водных объектов различной типологии в единообразных понятиях, основанных на физических величинах и принципах нелинейной термодинамики, в условиях выраженного антропогенного воздействия или отсутствии такового. Перспективны на наш взгляд также возможности прогнозирования состояния водных экосистем на основе балансового соотношения  $R/P$  и специфики формирования и трансформаций аттракторов.

Однако использование традиционных методов определения продукционно-деструкционных показателей фактически в условиях полевого эксперимента ограничивает широкое внедрение предложенной методологии в практику мониторинга.

В то же время среди наблюдаемых на регулярной основе гидрохимических показателей есть те, которые могут служить основой для расчета термодинамических параметров состояния, характеризующих обобщенное состояние водных экосистем. К таким показателям можно отнести концентрацию в воде растворенного кислорода и температуру воды.

Существует теоретическая возможность рассчитывать величину изменения энтропии экосистемы на основе концентрации растворенного кислорода и температуры воды в водном объекте.

Концентрация растворенного в воде кислорода определяется основными процессами: газообменом с атмосферой (аэрация и деаэрация), выделением в результате фотосинтеза, поступлением в водоемы с дождевыми и снеговыми водами, потреблением в процессе дыхания гидробионтов и окисления органических и неорганических соединений. Скорость изменения концентрации кислорода в результате газообмена с атмосферой и химических процессов в большинстве случаев несопоставимо ниже скорости продуцирования кислорода в процессе фотосинтеза и потребления в процессе дыхания, что подтверждается данными натурных наблюдений, в частности



полученными автоматическими станциями [16]. Поэтому преобладающее изменение концентрации кислорода в водном объекте можно отнести на счет фотосинтетического продуцирования и деструкции органического вещества.

В равновесном состоянии данной температуре воды соответствует данная концентрация 100 % насыщения растворенного кислорода. Фактическая концентрация кислорода в природных водах может не соответствовать равновесной, а соответствовать равновесной концентрации при другой температуре воды. Изменение концентрации кислорода в воде за счет процессов фотосинтетического продуцирования и деструкции органического вещества эквивалентно, таким образом, изменению концентрации кислорода за счет изменения температуры, что, в свою очередь, эквивалентно изменению энтропии экосистемы. Это позволяет рассчитать величину ее изменения, которое происходит за счет биологических процессов, также как если бы это изменение произошло вследствие изменения температуры.

Изменение энтропии в этом случае при условии, что объем воды остается постоянным рассчитывается по формуле (1) [8]

$$\Delta S_t = S_2 - S_1 = cm \ln T_2/T_1, \quad (1)$$

где  $\Delta S_t = S_2 - S_1$  – изменение энтропии; индекс  $t$  при  $\Delta S_t$  означает, что время  $t = const$ . (т.е. изменение энтропии не по времени, а по температуре);  $c$  – удельная теплоемкость воды;  $m$  – масса воды;  $T_1$  – температура воды в водном объекте;  $T_2$  – температура воды, соответствующая 100 % насыщению кислородом при измеренной концентрации.

Удельная теплоемкость воды незначительно зависит от температуры (изменение не более 0,8 % в диапазоне температур от 1 °C до 100 °C) и мы можем принять ее равной единице. Поскольку масса воды постоянна, ее можно исключить из формулы, и в окончательном виде формула имеет вид:

$$\Delta S_t = \ln T_2/T_1 \quad (2)$$

Параллельная оценка состояния водной экосистемы р. Протва на основе предлагаемого метода и на основе продукционно-деструкционных показателей, рассчитанных по суточному ходу концентрации кислорода, т. е. балансовым методом [1] подтверждает обоснованность теоретических рассуждений (рисунок 1) [16].

Таким образом, сопоставление динамики продукционно-деструкционных показателей и термодинамических параметров состояния водных экосистем, полученных на основе гидрохимических данных, доказывает их эквивалентность и корректность теоретических утверждений, положенных в основу предлагаемого способа оценки.

К сожалению, количество автоматических станций на государственной сети наблюдений очень ограничено, поэтому необходима адаптация метода оценки состояния водных экосистем на основе энтропии к существующим возможностям наблюдательной сети.

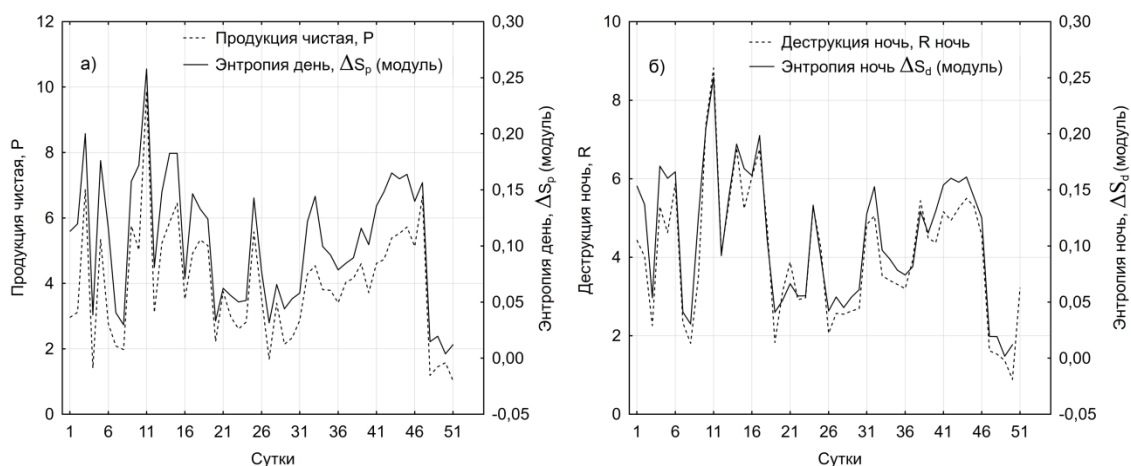


Рисунок 1 – Суточная динамика чистой продукции ( $P_{ч}$ ) и изменения дневной энтропии ( $\Delta S_p$ ) (а); а также ночной деструкции ( $R_{т}$ ) и изменения ночной энтропии ( $\Delta S_d$ ) (б).

Из-за специфики расчетов деструкции и чистой продукции, и изменения энтропии их величины имеют разные знаки. Поэтому при сравнении использованы абсолютные значения изменения энтропии.

Программы наблюдений сетевых гидрохимических лабораторий предусматривают измерение концентрации кислорода и температуры воды не чаще одного раза в сутки для пунктов всех категорий [15]. Этих данных достаточно для того, чтобы оценить изменение энтропии за счет продукционно-деструкционных процессов в данной временной точке. Значение изменения энтропии в этом случае можно рассматривать как результат предшествовавших внутриводоемных процессов и, таким образом, рассматривать точечные значения изменения энтропии как адекватную результирующую оценку экологического состояния водного объекта в данном месте, сформировавшегося за предшествующий период. Это подтверждается параллельными расчетами, выполненными по данным о суточной динамике температуры воды и концентрации кислорода, полученными с помощью передвижной автоматической станции контроля воды (АСКВ-П, НПО «Тайфун»), установленной на р. Жиздра.

На рисунке 2а представлена траектория изменения энтропии  $\Delta S_t$ , рассчитанная по точечным измерениям концентрации кислорода и температуры воды в утреннее время при минимальных значениях концентрации кислорода и траектория динамики балансового отношения  $R/P$  ( $R$  – деструкция органического вещества в темное время суток,  $P$  – первичная продукция в светлое время суток), рассчитанного по изменению концентрации кислорода в течение суток. Следует подчеркнуть, что для расчета изменения энтропии использованы минимальные суточные значения концентрации кислорода, как наиболее адекватно отражающие в суточном цикле результат взаимодействия двух противоположных процессов: фотосинтетической продукции и деструкции органического вещества. Графики  $R/P$  и  $\Delta S_t$  проявляют сходные тенденции, при этом изменение энтропии  $\Delta S_t$  запаздывает от балансового соотношения  $R/P$  на 2 – 3 суток. Это подтверждает обоснованность точечной оценки как результирующей предшествующего периода и позволяет оценивать

экологическое состояние водных объектов на основе проводимых на государственной наблюдательной сети измерений концентрации кислорода и температуры воды.

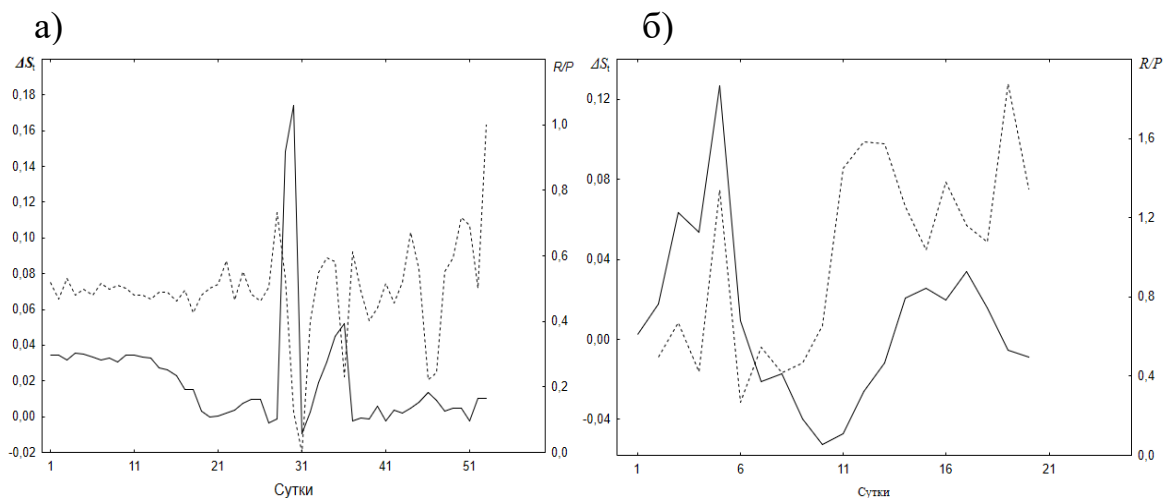


Рисунок 2 – траектории изменения энтропии  $\Delta S_t$  (1) и балансового отношения  $R/P$  (2) р. Жиздра (а) и траектории изменения энтропии  $\Delta S_t$  (1) и балансового отношения  $R/P$  (2) модельной водной экосистемы (мезокосма) при воздействии сульфата кадмия (б)

Аналогичные результаты получены при сопоставлении динамики  $R/P$  и  $\Delta S_t$  в мезокосмах, в экспериментах по изучению воздействия кадмия на модельные водные экосистемы (рисунок 2б) [14].

Таким образом, традиционные гидрохимические показатели приобретают другой, более глубокий, термодинамический смысл: характеризуют отклонение энтропии водной экосистемы от некоторой нормы, степень которого определяет уровень ее благополучия.

Для дальнейшего развития этого подхода с использованием при расчете изменения энтропии традиционных гидрохимических показателей – концентрации растворенного кислорода и температуры воды, и формализации оценок, необходимо сформировать теоретически обоснованную шкалу оценки состояния.

Как следует из формулы (2), для того чтобы рассчитать значение  $\Delta S_t$ , по таблице растворимости кислорода определяют значение  $T_2$  – температуры воды, соответствующей 100 % насыщению кислородом при измеренной концентрации кислорода. Например, измеренная в водном объекте концентрация кислорода составила  $8,91 \text{ мг/дм}^3$ . Такая концентрация соответствует концентрации насыщения (равновесной концентрации) при температуре  $21,0^\circ\text{C}$  или  $294,15 \text{ K}$ . Для краткости изложения назовем ее «равновесная» температура. Измеренная в водном объекте температура воды составила  $15^\circ\text{C}$  или  $288,15 \text{ K}$ . Изменение энтропии  $\Delta S_t = \ln T_2/T_1 = 0,021$ .

Предельные значения изменения энтропии  $\Delta S_t$  в водном объекте можно рассчитать исходя из крайних теоретически возможных сочетаний, измеренных в водном объекте концентрации кислорода и температуры.

1. Допустим при температуре воды в водном объекте  $T_1 = 273,15 \text{ К}$  ( $0,0^\circ\text{C}$ ) измеренная концентрация кислорода  $C = 0,0 \text{ мг/дм}^3$ , что по таблице соответствует «равновесной» температуре  $T_2 = 373,15 \text{ К}$  ( $100^\circ\text{C}$ ). В этом случае изменение энтропии примет максимальное значение:

$$\Delta S_t = \ln \frac{T_2}{T_1} = \ln \frac{373,15}{273,15} = 0,312 = \text{max}$$

Такое значение отклонения энтропии предполагает практически отсутствие фотосинтеза, а инвазия полностью нивелируется потреблением кислорода на окисление органических и неорганических соединений. С известными допущениями такое состояние может быть интерпретировано как смерть экосистемы и реально встречается в некоторых водных объектах, подверженных экстремальному загрязнению.

2. При температуре воды  $T_1 = 373,15 \text{ К}$  ( $100^\circ\text{C}$ ) измеренная концентрация кислорода  $C = 14,62 \text{ мг/дм}^3$ , что по таблице соответствует «равновесной» температуре  $T_2 = 273,15 \text{ К}$  ( $0,0^\circ\text{C}$ ). В этом случае изменение энтропии примет теоретически минимальное значение.

$$\Delta S_t = \ln \frac{T_2}{T_1} = \ln \frac{273,15}{373,15} = -0,312 = \text{min}$$

Однако при температуре воды  $100^\circ\text{C}$  не может существовать экосистемная жизнь (за чрезвычайно редким исключением геотермальных источников, где могут существовать отдельные популяции, но отсутствуют экосистемы как таковые). Максимальная температура воды Мирового океана составляет около  $36^\circ\text{C}$  [5]. Это значение следует принять за крайнее, при котором возможна экосистемная жизнь. То есть, если при температуре воды  $T_1 = 309,15 \text{ К}$  ( $36^\circ\text{C}$ ) измеренная концентрация кислорода  $C = 14,62 \text{ мг/дм}^3$ , что по таблице соответствует «равновесной» температуре  $T_2 = 273,15 \text{ К}$  ( $0,0^\circ\text{C}$ ), то в этом случае изменение энтропии примет минимально возможное для природных водных объектов значение.

$$\Delta S_t = \ln \frac{T_2}{T_1} = \ln \frac{273,15}{333,15} = -0,123 = \text{min}$$

Указанный диапазон от  $0,312$  до  $-0,123$  разбит на пять классов, соответствующих тому или иному состоянию (таблица). Количество классов соответствует количеству интервалов, используемых в классификации степени загрязненности воды, принятой в Росгидромете. Отрицательные значения  $\Delta S_t$  соответствуют пересыщенному раствору кислорода, существование которого во времени ограничено, крайне редко встречается в реальных водных объектах и маловероятно в утренние часы, когда по методике проводят измерение концентрации кислорода в воде. Поэтому, они включены в первый класс, соответствующий наиболее благополучному состоянию экосистемы. Для краткости изложения в дальнейшем будем называть величину изменения энтропии – энтропийный индекс.

Оценка состояния экосистемы по энтропийному индексу на основе предложенной шкалы, отражающая благополучие экосистемы, не всегда может

совпадать с оценкой уровня загрязнения. И это вполне объяснимо и не противоречит смыслу оценок.

Таблица – Классификация экологического состояния

	Энтропийный индекс	Экологическое состояние
1	-0,123 – 0,062	Предельно благополучное
2	0,063 – 0,124	Благополучное
3	0,125 – 0,187	Удовлетворительное
4	0,188 – 0,249	Неблагополучное
5	0,250 – 0,312	Предельно неблагоприятное

Удельный комбинаторный индекс загрязнения воды (УКИЗВ) является сравнительным показателем, лишь в некоторой степени характеризующим качество окружающей среды, а отклонение энтропии от нормы – состояние экосистемы, существующей в данной окружающей среде, т. е. результат воздействия загрязнения. Состояние экосистемы, уровень ее благополучия, не должны быть прямо связаны со степенью загрязненности водного объекта (тем более коррелировать с УКИЗВ) по ряду причин, одна из которых – возможность адаптации экосистем к негативным воздействиям, другая – возможные трансформации загрязняющих веществ в природных водах, влекущие изменение их токсических свойств. Однако, очевидно, что увеличение концентрации загрязняющих веществ в воде до критического уровня или их продолжительное воздействие может превысить адаптационные возможности экосистем, что и приведет к изменению их состояния.

Несостоятельность отождествления уровня загрязнения и экологического состояния водного объекта хорошо выявляется в ходе натуральных экспериментов, с контролируемым внесением загрязняющих веществ. На рисунке 2б представлены графики динамики  $R/P$  и  $\Delta S_i$  в мезокосме, в который однократно в начале эксперимента был внесен серноокислый кадмий в концентрации в 100 раз превышающей предельно допустимую. Не вдаваясь в детальное обсуждение реакции модельной экосистемы на токсическое воздействие и трансформации тяжелого металла в природной воде, можно отметить, что ее состояние находится в пределах благополучного. Аналогичные результаты были получены в многочисленных экспериментах в мезокосмах с использованием различных токсикантов в разнообразных концентрациях и вариантах воздействия [10, 25].

Иллюстрация оценки экологического состояния ряда водных объектов по энтропийному индексу в сопоставлении с классом качества воды (ККВ) по удельному комбинаторному индексу представлена на рисунке 3. Для наглядности выбраны заведомо чистые водные объекты, в частности озеро Байкал, априори рассматриваемое как эталонный водный объект, и объекты с чрезвычайно высоким уровнем загрязнения. Для расчета использованы многолетние данные по концентрации кислорода и температуре воды, полученные на государственной наблюдательной сети.

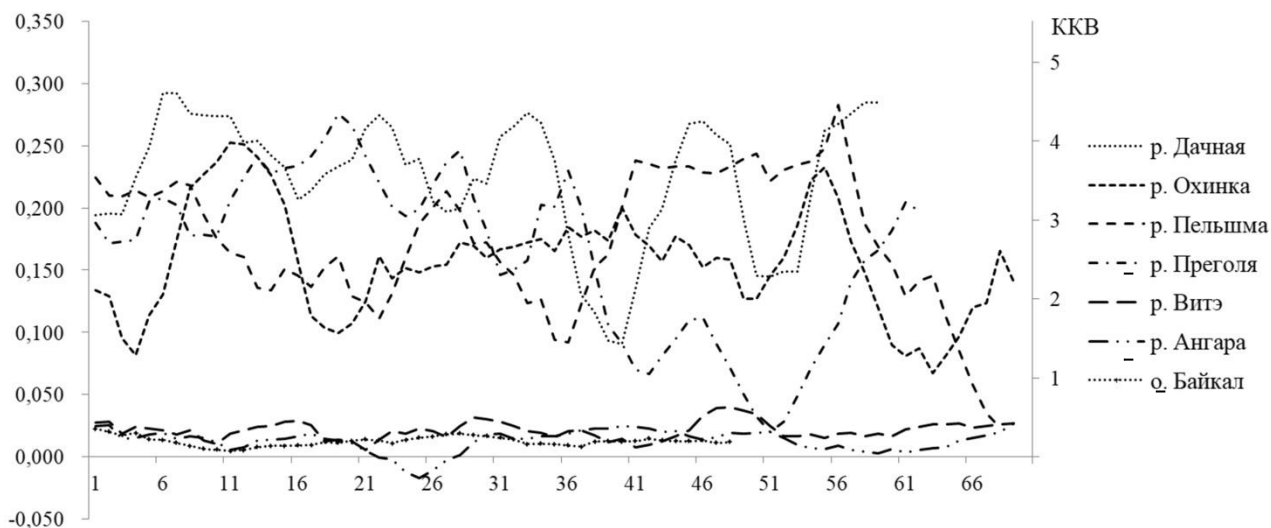


Рисунок 3 – Энтропийный индекс водных объектов  $\Delta S_t$  (сглаженный скользящей средней – лаг 5) в сопоставлении с классом качества воды по УКИЗВ

Оценки экологического состояния представленных водных объектов незначительно отличаются от оценок уровня загрязнения, но в основном соответствуют классу качества воды. Уровни загрязнения рек Дачная, Пельшма, Охинка оцениваются значениями удельного комбинаторного индекса в пределах 5,5 – 8,3, что соответствует 4 – 5 классам качества воды. В этой же области расположены графики энтропийных индексов этих рек, характеризующих их экологическое состояние как «неблагополучное» и «предельно неблагоприятное». Энтропийные индексы чистых водных объектов характеризуют их экологическое состояние как «предельно благополучное». Наиболее благополучным состоянием отличается экосистема озера Байкал. Следует обратить внимание на характер динамики энтропийного индекса водных объектов различного уровня загрязнения. Для чистых, более благополучных водных объектов – оз. Байкал, рр. Ангара, Витэ, характерны более стабильные значения энтропийного индекса. Это важная для оценки состояния водных объектов закономерность свидетельствует о том, что экосистемы, не подверженные антропогенной нагрузке и находящиеся в естественном состоянии, обеспечивают энергетически сбалансированное существование в стационарном режиме. Следует подчеркнуть, что в данном контексте стабильность не означает устойчивость экосистем к внешним воздействиям. В грязных реках значения энтропийного индекса подвержены существенным колебаниям. Эти особенности могут свидетельствовать о неестественном состоянии водных экосистем загрязненных водных объектов, регулярно реагирующих на негативные внешние воздействия.

Достоинства предложенного подхода на основе энтропийного индекса очевидны. Базой для расчета энтропийного индекса служат регулярные данные, получаемые на государственной наблюдательной сети на пунктах всех категорий. Методика определения концентрации кислорода в воде тривиальна и

надежна, а возможность использования оксиметров до предела упрощает измерения и в известной мере снимает проблему квалификации кадров. Возможность реализации измерений в автоматизированном режиме с передачей данных по беспроводным каналам связи позволит получать сведения об экологическом состоянии водных объектов в режиме реального времени и в случае необходимости принимать своевременные управленческие решения.

Предложенный способ оценки экологического состояния водных объектов может послужить основой для оптимизации системы мониторинга состояния и загрязнения поверхностных вод суши. Оценивая термодинамическое состояние водных экосистем в конкретных физико-химических условиях, тем самым оценивается комплексное воздействие загрязняющих веществ. Энтропийный индекс может являться финальной оценкой экологического состояния водного объекта, если таковое отнесено к разряду благополучного. Оценка водных объектов как неблагополучных, может служить основой для принятия решения о более детальных исследованиях. Такой дифференцированный подход к оценке экологического состояния дает возможность сокращения количества наблюдений за загрязняющими веществами в благополучных водных объектах и более детальном исследовании неблагополучных.

#### Список литературы

1. Винберг Г.Г. Первичная продукция водоемов. Минск: Издательство Академии Наук БССР, 1960. 330 с.
2. Гапонов-Грехов А.В., Рабинович М.И. Хаотическая динамика простых систем // Природа. 1981. № 2. С. 54-65.
3. Зотин А.И., Зотина Р.С. Термодинамические критерии устойчивости и надежности биологических систем и процессов развития // Надежность и гомеостаз биологических систем. Киев: Наукова думка, 1987. С. 26-34.
4. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 376 с.
5. Кан С.И. Океан и атмосфера, М.: Наука, 1982. 170 с.
6. Климонтович Ю.Л. Введение в физику открытых систем // Соросовский образовательный журнал. 1996. № 8. С. 109-116.
7. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Законы эволюции и самоорганизации сложных систем. М.: Наука, 1994. 240 с.
8. Кухлинг Х. Справочник по физике. М.: Мир, 1982. 520 с.
9. Маргалеф Р. Облик биосферы. М.: Наука, 1992. 215 с.
10. Никаноров А.М., Трофимчук М.М., Сухоруков Б.Л.. Методы экспериментальной гидроэкологии, Ростов-на-Дону: Изд-во «НОК», 2012. 309 с.
11. Никаноров А.М., Трофимчук М.М. Особенности термодинамики внутриводоемных процессов в пресноводных экосистемах при антропогенном воздействии // Доклады РАН. 2010. Т. 433. № 2. С. 254-256.
12. Никаноров А.М., Трофимчук М.М. Метаболическая мощность экосистем как мера их устойчивости к внешним воздействиям // Доклады академии наук. 2013. Т. 448. № 3. С. 338-341.

13. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. М.: Издательство ЛКИ, 2008. 352 с.
14. Никаноров А.М., Трофимчук М.М. Термодинамика внутриводоемных процессов в пресноводных экосистемах при антропогенном воздействии // Водные ресурсы. 2011. Т. 38. № 4. С. 454-463.
15. РД 52.24.309-2011. Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши. Ростов-на-Дону, 2011. 104 с.
16. Трофимчук М.М. О возможности оценки экологического состояния водных объектов на основе энтропии // Метеорология и гидрология. 2018. № 7. С. 80-86.
17. Jørgensen S.E, Mejer H.F. A holistic approach to environmental modeling // Ecol. Model. 1979. № 7. P. 169-189.
18. Jørgensen SE, Nielsen SN, Mejer H. Emergy, environ, exergy and ecological modelling // Ecological Modelling. 1995. Vol. 77. P. 99-109.
19. Jørgensen S.E., Mejer H., Nielsen S.N. Ecosystem as self-organizing critical systems // Ecological Modelling. 1998. Vol. 111. P. 261-268.
20. Jørgensen SE, Svirezhev YM (2004) Towards a Thermodynamic Theory for Ecological Systems. UK, Oxford, Elsevier, 2004. 380 p.
21. Jørgensen S.E., Ladegaard N., Debeljak M., Marques J.C. Calculations of exergy for organisms // Ecological Modelling. 2005. Vol. 185. P. 165-175.
22. Jørgensen S.E., Nielsen S.N. Application of exergy as thermodynamic indicator in ecology // Energy. 2007. Vol. 32. P. 673-685.
23. Jørgensen S.E., Ludovisi A., Nielsen S.N. The free energy and information embodied in the amino acid chains of organisms // Ecological Modelling. 2010. Vol. 221. P. 2388-2392.
24. Ludovisi A. Effectiveness of entropy-based functions in the analysis of ecosystem state and development // Ecological Indicators. 2014. Vol. 36. P. 617-623.
25. Trofimchuk M.M. Sustainability of Water Ecosystems: From Theory to Practice / Sustainability Perspectives: Science, Policy and Practice, Strategies for Sustainability. Springer Nature Switzerland AG, 2020. P. 63-94



## ХИМИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ И ПАРАМЕТРЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО НЕБЛАГОПОЛУЧИЯ КАК ВОЗМОЖНАЯ ОСНОВА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МЕР ПО РЕАБИЛИТАЦИИ ВОДОХРАНИЛИЩ

Т.А. Хоружая<sup>1), 2)</sup>

<sup>1)</sup>ФГБУН Институт водных проблем РАН, Гидрохимический отдел,  
Ростов-на-Дону, Россия, [khorigajat@mail.ru](mailto:khorigajat@mail.ru)

<sup>2)</sup>ФГБУ «Гидрохимический институт» Ростов-на-Дону, Россия,  
[info@gidrohim.com](mailto:info@gidrohim.com)

В настоящее время в природоохранной практике все чаще употребляется понятие «экологическое благополучие/неблагополучие», хотя для их анализа используется несколько подходов. При анализе качества воды по гидробиологическим показателям [2] для оценки экологического благополучия используется методика, основанная на понятиях экологического и метаболического регресса [1]. Более масштабным является метод, разработанный для различных объектов окружающей среды, в том числе для водных объектов с использованием характеристик различных состояний, отражающих формирование негативных изменений в экосистеме по мере их нарастания: от относительно удовлетворительного состояния через экологическое напряжение к чрезвычайной экологической ситуации (обратимым изменениям) и к экологическому бедствию (необратимым изменениям) (соответственно ЭН, ЧЭС и ЭБ) [3]. Каждое состояние характеризуется определенным набором критериев, показателей и параметров.

Понятие «экологическое благополучие/неблагополучие» нашло применение в охране водных объектов и водных экосистем, состояние которых определяет устойчивое водопользование и обеспеченность страны водными ресурсами. Особое место в обеспеченности России водными ресурсами имеют природно-техногенные водные объекты – водохранилища. Водоохранилища, расположенные в бассейне Нижнего Дона: Цимлянское, и Манычские (Пролетарское и Веселовское), имеют важное народно-хозяйственное значение в густонаселенном регионе юга России.

Водоохранилища используются уже более 50 лет; важность их подтверждается многочисленными публикациями, посвященными анализу их состояния, хотя оценке их экологического благополучия, в частности в многолетнем аспекте, уделяется недостаточно внимания. В то же время уже появились данные о том, что на этих водохранилищах выявляются признаки экологического неблагополучия, в частности, проявления экологического бедствия [6].

Цель исследования: на основе многолетних данных мониторинга провести анализ возможности использования показателей экологического неблагополучия для управления состоянием водохранилищ в целях их реабилитации.

Задачи исследования: провести анализ состояния экологического благополучия водохранилищ и выявить случаи неблагополучия – ЭН, ЧЭС и ЭБ

по сравнению с относительно удовлетворительным состоянием (ОУ); выделить по полученным данным группы показателей состояния биотической и абиотической компонент водной экосистемы, наиболее значимых в формировании неблагополучия.

Водохранилища являются объектом государственного мониторинга Росгидромета. Цимлянское водохранилище (рисунок, а) создано на реке Дон, Манычские (Пролетарское и Веселовское) (рисунок, б) на реке Западный Маныч, правобережном притоке Дона.

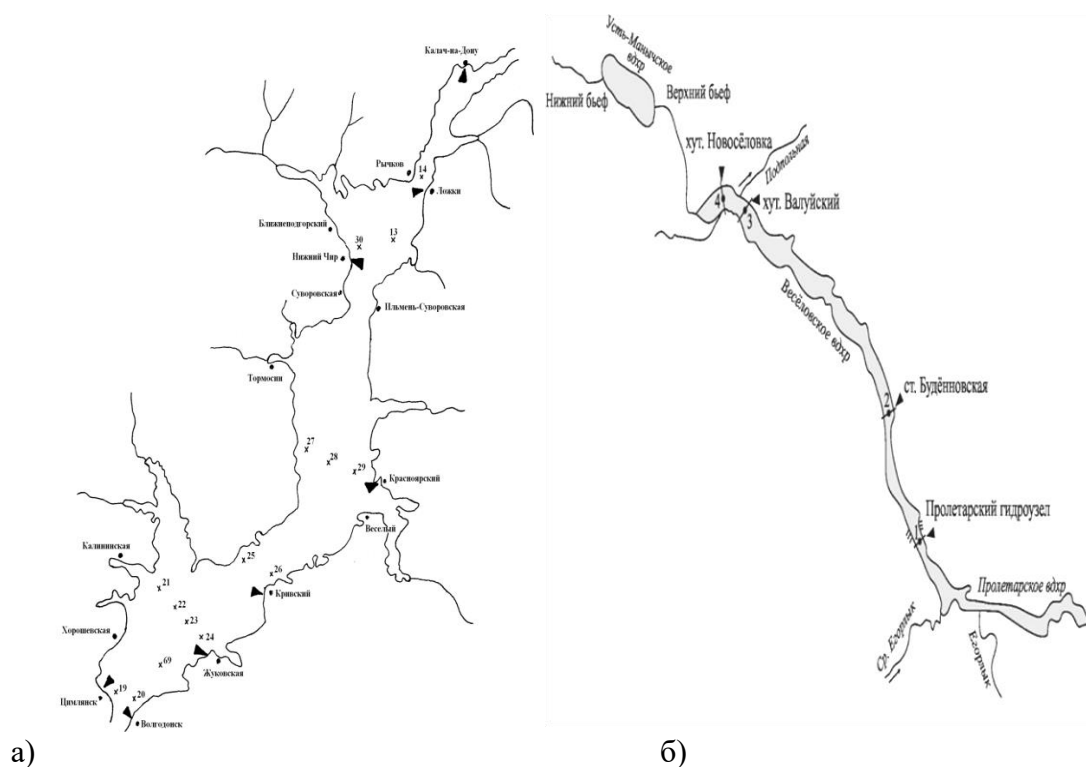


Рисунок – Карта-схема расположения пунктов наблюдений ГНС Росгидромета на Цимлянском (а) и Манычских (б) водохранилищах

В развитие подхода, установленного в [3] в Гидрохимическом институте разработан документ Р 52.24.763-2012 [4], включающий перечень наиболее важных биологических (гидробиологических и токсикологических) и физико-химических показателей, который применен нами для определения состояния благополучия водной экосистемы водохранилищ.

Анализ с целью выявления состояний экологического неблагополучия проведен на информации мониторинга Росгидромета за многолетний период (по биологическим показателям за 1984-2012 гг., по физико-химическим за 1984-2014 гг.) и на данных эколого-токсикологических исследований авторов на этих водохранилищах (за 2009-2014 гг.).

В качестве матрицы для оценки состояний экологического благополучия/неблагополучия использован комплекс гидробиологических и токсикологических показателей, составляющий биотическую компоненту, и

комплекс физико-химических показателей, составляющих абиотическую компоненту водной экосистемы.

На водохранилищах выявлены состояния экологического неблагополучия: экологического напряжения, чрезвычайной экологической ситуации и экологического бедствия (ЭН, ЧЭС и ЭБ). Ряд характеристик состояния водохранилищ в отдельные годы и по отдельным показателям было отнесено к относительно удовлетворительному состоянию (ОУ).

Определена относительная частота выявления случаев ЭН, ЧЭС и ЭБ за многолетний период, рассчитанная как доля каждого из них в процентах от общего числа выделенных состояний, т.е. суммы ОУ-состояний, ЭН, ЧЭС и ЭБ. Сравнение относительной частоты выявления состояний экологического неблагополучия за многолетний период на водохранилищах позволило определить значимость каждой группы показателей в формировании состояния их экологического неблагополучия (таблица). Использован перечень показателей каждой группы по [4].

Значимость компонент и показателей в формировании каждого из состояний различна, что выявляется уже при выделении ОУ-состояния. Так, на Цимлянском водохранилище оно чаще определяется по абиотической компоненте, чем по биотической, на Манычских водохранилищах, наоборот, чаще по биотической.

Таблица – Относительная значимость групп показателей состояний экологического благополучия/неблагополучия для биотической и абиотической компонент водной экосистемы Цимлянского и Манычских водохранилищ (Пролетарского и Веселовского) по данным за многолетний период (по [7] с изменениями)

Группы показателей (компонента)	Доля показателей, по которым выявлены состояния, % от общего числа							
	ОУ		ЭН		ЧЭС		ЭБ	
	Ц	М	Ц	М	Ц	М	Ц	М
Гидробиологические и биотестовые (биотическая компонента)	23	77	38	69	38	38	54	0
Физико-химические (абиотическая компонента)	44	43	44	64	62	64	50	50

Примечания. Учтены наихудшие из различных состояний за многолетний период. Условные обозначения: ОУ – относительно удовлетворительное состояние; ЭН – экологическое напряжение; ЧЭС – чрезвычайная экологическая ситуация; ЭБ – экологическое бедствие. Ц – Цимлянское водохранилище; М – Манычские водохранилища.

Признаки ЧЭС на всех водохранилищах чаще определяются по абиотической компоненте чем по биотической. В формировании проявлений ЭБ роль абиотической компоненты одинакова для всех водохранилищ, тогда как биотическая компонента определяет формирование ЭБ только в

Цимлянском водохранилище. Параметры биологических показателей свидетельствуют об относительной стабильности биотической компоненты водной экосистемы Манычских водохранилищ.

Интересно, что влияние абиотической компоненты более выражено, чем биотической и сходно (в процентах) для Цимлянского и Манычских водохранилищ; по сравнению с относительно удовлетворительным состоянием оно увеличивается по мере нарастания негативных изменений. Роль биотической компоненты по мере ухудшения состояния водной экосистемы Цимлянского водохранилища возрастает, на Манычских, напротив, снижается. В целом - по обеим компонентам - состояние водной экосистемы Цимлянского водохранилища нарушено в большей степени чем Манычских.

Результаты исследования позволяют заключить, что разделение комплекса показателей на две группы при анализе многолетних данных позволяет получить качественно новую информацию о состоянии водохранилищ и тенденциях изменений, соотношении воздействия на водную экосистему (абиотическая компонента) и отклика на воздействие (биотическая компонента). Этот подход направлен на сохранение и поддержание нормального функционирования экосистем водных объектов.

Теоретически точками приложения для минимизации негативных изменений должны быть обе компоненты Цимлянского водохранилища и абиотическая компонента Манычских. Для разработки мер по реабилитации водохранилищ, помимо предлагаемого подхода, может быть использован более простой путь: конкретные физико-химические и/или биологические показатели биоиндикации и биотестирования, параметры которых соответствуют ЭН, ЧЭС и ЭБ (согласно Р 52.24-763-2012). Показатели, параметры которых указывают на неблагополучие до формирования необратимых нарушений (ЭБ), могут быть «мишенями» для управления качеством воды водохранилищ.

*Работа выполнена в рамках тем Планов ФГБУН ИВП РАН (госзадание № 0147-2019-0002; № ГР АААА-А18-118022090104-8) и ФГБУ «Гидрохимический институт».*

#### Список литературы

1. Абакумов В.А. Экологические модификации и развитие биоценозов // Экологические модификации и критерии экологического нормирования. Труды Международного симпозиума. Л., Гидрометеиздат, 1991. С. 18-40.
2. Качество поверхностных вод РФ по гидробиологическим показателям. Ежегодники. Обнинск: ВНИИГМИ МЦД, 2003-2015.
3. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия // Зеленый Мир. Российская экологическая газета. 1994. № 12. 8 с.
4. Р 52.24.763-2012. Оценка состояния пресноводных экосистем по комплексу химико-биологических показателей. Ростов-на-Дону, 2012. 22 с.
5. РД 52.24.309-2016. Организация и проведение режимных наблюдений в пунктах государственной наблюдательной сети за состоянием и загрязнением

водных объектов». МПР России, Росгидромет, ФГБУ «ГХИ», Ростов-на-Дону, 2016. 100 с.

6. Хоружая Т.А., Минина Л.И. Оценка экологического состояния Цимлянского, Пролетарского и Веселовского водохранилищ» // Метеорология и гидрология, 2017. №5. с.116-122.

7. Nikanorov A.M., Khoruzhaya T.A. The Role of Biotic and Abiotic Component of the Aquatic Ecosystems in the Formation of Ecological Trouble in Tsimlyansky and Manytsky Reservoirs // Water Resources, Pleiades Publishing, Ltd., 2019. Vol. 46. No. 5. P. 759-768.

# ХАРАКТЕРИСТИКА РЕПРОДУКТИВНОГО ПОТЕНЦИАЛА БЫЧКА-КРУГЛЯКА *NEOGOBIVUS MELANOSTOMUS* (PALLAS, 1814) В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕНИЯ СОЛЕННОСТИ ВОД АЗОВСКОГО МОРЯ

Н.И. Цема, Л.А. Бугаев, В.А. Лужняк

*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»),  
Ростов-на-Дону, tsema-nina@yandex.ru*

В последнее десятилетие после благоприятного периода воспроизводства темп роста запасов азовских бычков существенно сократился с 60-80 % в 2010-2014 годах до 10-15 % в 2015-2016 годах, а с 2017 г. отмечен тренд на снижение запаса (рисунок 1).

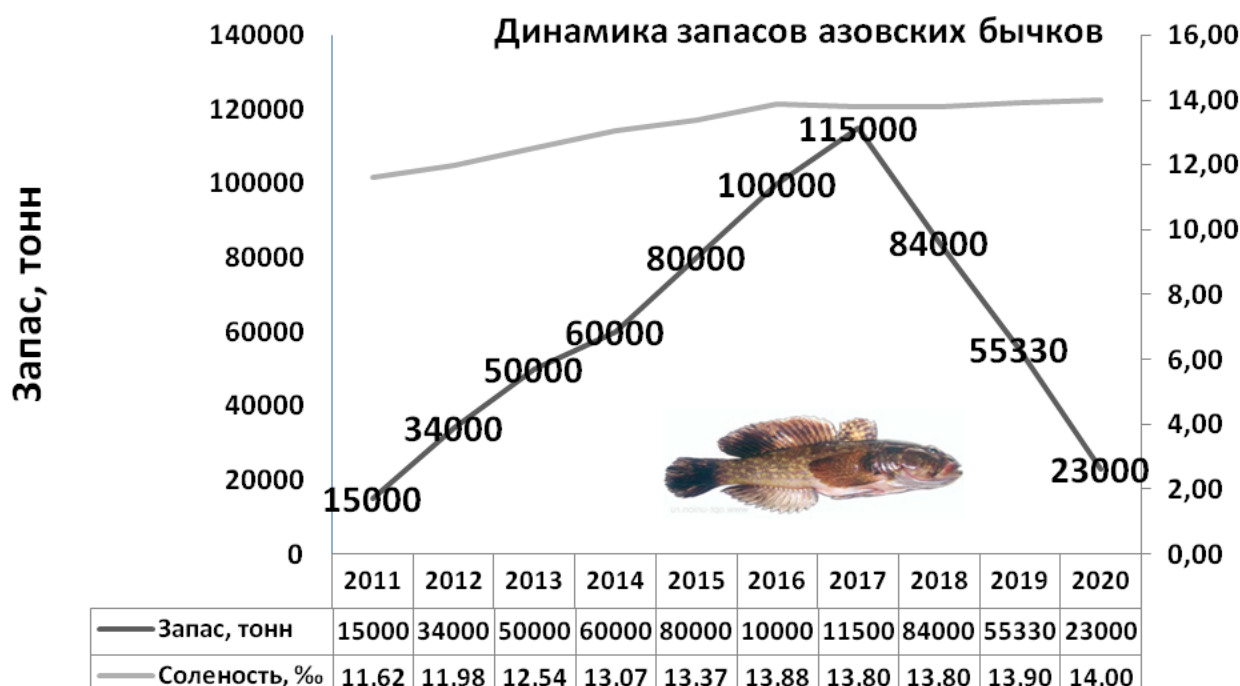


Рисунок – Динамика запасов азовских бычков

Климатически обусловленная низкая водность рек в сочетании с антропогенной утилизацией речного стока привела к осолонению вод Азовского моря в период 1969-1976 гг. до 13,5 ‰, что негативно отразилось на состоянии запасов промысловых рыб моря [1]. Соленость вод, даже в прибрежных нерестовых районах, достигла пограничного уровня для выживания молоди бычков – 13 ‰. Величина запаса бычков сократилась с 84 тыс. тонн в 1968 г. до 10 тыс. тонн в 1972 г. [6]. Несмотря на наступившие неблагоприятные условия естественного воспроизводства и последовавшее резкое снижение запаса, промысел бычков механизированными драгами (судовой промысел) продолжал вестись, что в результате привело к окончательному падению их запасов к 1983 г. до величины 1,2 тыс. тонн.

В результате этого для восстановления промыслового значения азовским бычкам в наступивших затем благоприятных гидрологических условиях потребовался период продолжительностью более 20 лет.

С 2007 г. море находится в очередном периоде осолонения, причем современное даже более выражено, чем считавшееся катастрофическим осолонение 1970-х гг. Причиной современного осолонения является наблюдаемое в последнее десятилетие снижение стока р. Дон на фоне увеличения испарения, связанного с повышением температур [2, 14]. Таким образом, в настоящее время в Азовском море возможно повторение сценария 1972-1983 годов с потерей промыслового значения бычков на долгосрочную перспективу.

Увеличение солености вод Азовского моря приводит к тугорослости бычка, к преобладанию в популяциях мелкой рыбы, значительная доля которой представлена половозрелыми особями в возрасте более 1 года, т. е. не является молодь, хотя и не достигает промысловой меры. Увеличение солености вод Азовского моря напрямую влияет и на другие виды рыб. К примеру, поступление соленых вод из моря в кубанские лиманы приводит к снижению эффективности воспроизводства судака и тарани [11].

Исследование физиолого-биохимических показателей, связанных с репродуктивной системой бычков в нерестовый период, является важным направлением для оценки причин низкого уровня естественного воспроизводства популяции.

В преднерестовый период в печени рыб происходит накопление резервных веществ и интенсификация метаболических процессов, необходимых для созревания гамет. У самок рыб печень под воздействием эстрогенов синтезирует вителлогенин и белки-предшественники основных белков желтка яйцеклеток и их оболочек. В печени происходят основные процессы трансформации липидов, входящих затем в состав желтка, синтезируются некоторые белки плазмы крови, доставляющие в репродуктивные ткани необходимые гормоны и витамины. Активация детоксикационной функции печени под воздействием ксенобиотиков сказывается на клиренсе половых гормонов и их биологической активности, ведет к снижению уровня липидных антиоксидантов (токоферол, ретинол, каротиноиды), необходимых для репродуктивной функции рыб [4]. Изучение процессов аккумуляции каротиноидов в печени и гонадах рыб является актуальным для выяснения причин и биохимических механизмов развития функциональных нарушений в репродуктивной функции рыб, их способности к размножению и пополнению популяции в современных условиях обитания.

Цель настоящей работы – оценка репродуктивного качества производителей бычка-кругляка *Neogobius melanostomus* из прибрежных акваторий Азовского моря в условиях повышенной солености.

Задачи: исследовать комплекс физиолого-биохимических показателей рыб для оценки репродуктивного качества бычка-кругляка, выловленного в Таганрогском заливе в нерестовый период.

В начале нерестового периода 2016 г. исследовали производителей бычка-кругляка *N. melanostomus*, отловленного в прибрежной части Таганрогского залива (пос. Весело-Вознесенка) при температуре воды 25 °С. Проведен биологический анализ исследуемых рыб: определяли пол, общую длину, массу тела и гонад, плодовитость по общепринятой методике [12]. В печени всех рыб и икре самок определяли уровень каротиноидов [7]. Величину индекса печени и индекса гонад рассчитывали как отношение массы печени (гонад) к массе тушки рыбы, выраженное в процентах [19].

Обследованы самцы бычка-кругляка в возрасте 2+, 3+ и самки в возрасте 2+. Самцы были длиной 14,6 см, массой 87,3 г, самки – 11,6 см и 43,5 г соответственно. Индексы печени и гонад, рассчитанные на тушку, у самцов составляли 3,4 % и 1,15 %. Жир в печени, гонадах и мышцах самцов из Таганрогского залива составлял 62,0, 29,2 и 4,7 %; у самок – 62,9, 24,0 и 6,8 % соответственно. Содержание белка в мышцах и печени самок и самцов было на одном уровне, а в гонадах самок было на 66 % выше, чем у самцов (таблица 1).

Таблица 1 – Показатели физиологического состояния бычка-кругляка из Таганрогского залива (пос. Весело-Вознесенка) в нерестовый период 2016 г.

Показатели	Таганрогский залив (пос. Весело-Вознесенка)	
	самки	самцы
Масса, г	43,5	87,3
Длина, см	11,6	14,6
Возраст, годы	2+	2+, 3+
Коэффициент упитанности по Фультону	2,75	2,83
Индекс печени, %	3,1	3,4
Стадии зрелости гонад (СЗГ)	II-III, III, III-IV, IV, IV-V, V	III-IV
Индекс зрелости гонад, %	9,88	1,15
Жир мышц, %	6,8	4,7
Жир печени, %	62,9	62,0
Жир гонад, %	24,0	29,2
Белок мышц, %	18,6	18,3
Белок печени, %	21,1	22,1
Белок гонад, %	32,0	19,3
Концентрация каротиноидов в печени, мкг/г	3,8	4,2
Концентрация каротиноидов в гонадах, мкг/г	5,6	4,4

Коэффициент упитанности самцов и самок был на уровне среднемноголетних значений и составил соответственно 2,83 и 2,75 %. Индекс печени самок в нерестовый период в среднем был на уровне значений нормально созревающих самок в нерестовый период и составил 3,1 %. Однако у более зрелых самок он был низким (1,6-1,7 %), что, по мнению Куликовой и Фандеевой (1975), может быть одной из основных причин пропуска нереста самками из-за резорбции желтковых ооцитов старших генераций. Согласно литературным данным, индекс печени у нерестящихся самок из Азовского моря в мае-июне 1972 г. варьировал в пределах 2,7-3,7 % [8].



Гонады самцов были в основном III-IV стадии зрелости. В гонадах самок была отмечена асинхронность развития половых клеток, что является нормой для рыб с длительным многократным порционным икротетанием.

Яичники самок из Таганрогского залива были II-III, III<sub>2</sub>, III-IV<sub>2</sub>, IV<sub>2</sub>, IV-V<sub>2</sub> и V<sub>2</sub> стадий зрелости (таблица 2).

Таблица 2 – Характеристика степени зрелости самок бычка-кругляка из Таганрогского залива (пос. Весело-Вознесенка) в нерестовый период 2016 г.

Стадия зрелости гонад	II-III	III <sub>2</sub>	III-IV <sub>2</sub>	IV <sub>2</sub>	IV-V <sub>2</sub>	V <sub>2</sub>
Количество самок, %	17	33	5	17	11	17

Представленные в таблице 2 данные показывают, что в период исследования только 50 % самок были готовы к очередному нересту (выделены жирным шрифтом).

Число порций икры в гонадах самок составляло 1-2. К моменту вылова рыбы первая порция икры была уже выметана. В исследованиях второй половины 20 века было установлено, что за период нереста каждая самка может откладывать 5-6 порций икры [8, 10, 13].

Количество икринок порции очередного нереста у исследованных самок варьировало в пределах 622-1683 шт., причем 70-86 % икринок будет выметано в очередной порции. Таким образом, в 2016 г. ожидалось раннее завершение процесса нереста. В гонадах самок было отмечено от 3 до 18 % резорбированных ооцитов (таблица 3), что свидетельствует о снижении репродуктивного качества самок в летний период.

Таблица 3 – Характеристика репродуктивного качества самок бычка-кругляка из Таганрогского залива (пос. Весело-Вознесенка) в нерестовый период 2016 г.

13,5	Индекс гонад, %	Концентрация каротиноидов в икре, мкг/г / абсолютное содержание каротиноидов в икре, мкг	Средний диаметр ооцитов старшей генерации, мм	Число порций	Среднее количество икринок порции очередного нереста,		Количество резорбированных ооцитов, %	Индекс печени, %
					шт.	%		
III <sub>2</sub>	3,4	8,5/8,2	0,94	1-2	874	86	3-4	4,7
IV-V <sub>2</sub>	16,8	3,5/18,4	1,98	2	622	70	4-8	1,7
V <sub>2</sub>	23,5	4,4/37,9	1,91	1-2	1683	85	10-18	1,6

Для оценки репродуктивного качества бычка-кругляка, являющегося бентофагом и обитающего в негативных условиях среды, определяли удельное содержание каротиноидов в икре и печени самок. Каротиноиды, являющиеся биомаркерами антиоксидантной защиты, функционально связаны с репродукцией рыб. Как известно, повышенное содержание каротиноидов в икре обеспечивает высокую жизнеспособность будущему потомству [9]. В летний период было отмечено снижение концентрации каротиноидов в печени самок

до 4,2, в печени самцов до 3,8 мкг/г сырой ткани по сравнению со значениями прошлых лет (6,7-6,9 мкг/г сырой ткани), что может свидетельствовать о влиянии неблагоприятных условий среды на физиологическое состояние производителей бычка-кругляка. Дефицит каротиноидов в печени приводит к снижению репродукционного потенциала рыб. Среднее значение концентрации каротиноидов в икре зрелых самок в нерестовый период 2016 г. было более чем в 2 раза ниже значений прошлых лет (таблица 1). Снижение содержания каротиноидов в икре приводит к появлению нежизнеспособного потомства.

Результаты исследований физиологического состояния производителей бычка-кругляка в нерестовый период 2016 г. позволили выявить негативное влияние среды обитания на репродуктивное качество производителей из Таганрогского залива (пос. Весело-Вознесенка). Это проявилось в снижении индекса печени у зрелых самок, низких концентрациях каротиноидов в печени производителей, пониженном содержании каротиноидов в икре, резорбции ооцитов. В результате этого предполагалось раннее завершение периода нереста в 2016 году. Наметилась тенденция снижения количества порций икры от 4 в 2014-15 гг. до 2-3 в 2016 г. Низкие индексы печени не могут способствовать образованию качественной икры, а низкое содержание каротиноидов в печени и икре приведут к появлению нежизнеспособного потомства. В наших предыдущих работах было показано влияние антропогенной нагрузки и заморных явлений на репродуктивный потенциал бычка-кругляка [3, 5, 15-18]. Однако современное осолонение вод Азовского моря (один из ключевых факторов, формирующий его экосистему) является ведущим в снижении темпов воспроизводства популяции бычка в современный период.

#### Список литературы

1. Белоусов В.Н., Брагина Т.М., Бугаёв Л.А., Реков Ю.И. Рыбохозяйственные исследования России в Азово-Черноморском бассейне (к 90-летию ФГБНУ «АзНИИРХ») // Водные биоресурсы и среда обитания. 2018. Т. 1. № 1. С. 11-31.
2. Бердников С.В., Дашкевич Л.В., Кулыгин В.В. Климатические условия и гидрологический режим Азовского моря в XX - начале XXI вв. // Водные биоресурсы и среда обитания. 2019. Т. 2. № 2. С. 7-19.
3. Дехта В.А., Дудкин С.И., Бойко Н.Е., Сергеева С.Г., Ружинская Л.П., Цема Н.И., Карапетьян О.Ш. Формализованная оценка влияния загрязненности водной среды и накопления в тканях токсических веществ на биологические показатели промысловых объектов азово-черноморского бассейна // Основные проблемы рыбохозяйственных водоемов азово-черноморского бассейна / Труды АзНИИРХ. Ростов-на-Дону: ФГУП «АзНИИРХ», 2012. С. 284-298.
4. Дудкин С.И., Колесникова Л.В., Цема Н.И. Пищевые цепи и репродуктивная биология рыб в условиях антропогенного загрязнения // Пробл. естеств. и искусств. воспроизводства рыб в морских и пресноводн. водоемах. / Тез. докл. Международн. научн. конф. Ростов-на-Дону: «ЦВВР», 2004. С. 47-49
5. Карапетьян О.Ш., Павленко Л.Ф., Короткова Л.И., Кораблина И.В., Цема Н.И. Влияние накопления приоритетных токсикантов в печени бычка-

кругляка *Neogobius melanostomus* Азовского моря на морфометрические и молекулярные биомаркеры данного вида рыб // Современные проблемы науки и образования: Электронный журнал. Москва, 2012. № 1. URL:<http://www.science-education.ru/101-5429>

6. Ковтун И.Ф. Экология и промысел бычков в условиях изменяющегося режима Азовского моря: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. М.: ВНИРО, 1980. 22 с.

7. Корниенко Г.Г., Бойко Н.Е., Бугаев Л.А., Дехта В.А., Дудкин С.И., Кузина В.Ф., Ложичевская Т.В., Рудницкая О.А., Сергеева С.Г. Физиолого-биохимические и генетические исследования ихтиофауны Азово-Черноморского бассейна. Методическое руководство. Ростов-на-Дону: Эверест, 2005. С. 48-56.

8. Куликова Н.И., Фандеева В.Н. О порционности икротетания азовского бычка-кругляка (*Gobius melanostomus*, Pallas) // Тр. ВНИРО, 1975. Т. ХСVI. С.18-27.

9. Логинова Т.А. Каротиноиды радужной форели при развитии гонад и икры / Обмен веществ и биохимия рыб. М.: Наука, 1967. С. 336-340.

10. Михман А.О. О плодовитости азовских бычков кругляка и сирмана // Тр. АзНИИРХ. Вып. 6, 1963. С. 105-109.

11. Порошина Е. А., Попова Т. М., Безрукавая Е. А. Влияние солёности на эффективность воспроизводства судака и тарани в Курчанском лимане Темрюкского района Краснодарского края // Водные биоресурсы и среда обитания, 2018. Т. 1, № 3-4. С. 91-96.

12. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищепромиздат, 1966. С. 11-37.

13. Ращеперин В.К. Особенности порционного икротетания бычка-кругляка Азовского моря и численность его молоди // Труды совещания молодых ученых. М.: Пищепромиздат, 1964. С. 70-74.

14. Спиридонова Е. О., Панов Б. Н., Жукова С. В. О возможностях долгосрочного прогнозирования солёности вод Азовского моря с использованием показателей региональной атмосферной циркуляции // Водные биоресурсы и среда обитания, 2018. Т. 1. № 3-4. С. 40-44.

15. Цема Н.И., Самарская Е.А., Дудкин С.И. Оценка репродуктивного качества производителей бычка-кругляка *Neogobius melanostomus* из Азовского моря в современный период // Вопросы рыболовства. Москва, 2013. Т. 14, № 4(56). С. 703-714.

16. Цема Н.И., Самарская Е.А., Рудницкая О.А. Особенности физиологической реакции нерестовой части популяции бычка-кругляка *Neogobius melanostomus* (Pallas. 1814) в Таганрогском заливе в условиях заморных явлений // Морские биологические исследования: достижения и перспективы / Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Часть 1. Севастополь, 2016. С. 331-335.

17. Цема Н.И. Результаты физиолого-биохимического мониторинга репродуктивного потенциала производителей бычка-кругляка *Neogobius*

*melanostomus* из Азовского моря // Вопросы рыболовства. Москва, 2017. Т. 18. № 2. С. 156-162.

18. Цема Н.И. Оценка разнокачественности физиологического состояния производителей бычка-кругляка *Neogobius melanostomus* (Pallas. 1814) из Азовского моря в преднерестовый период / Материалы конференции Дальрыбвтуза с международным участием. «Научно-практические вопросы регулирования рыболовства». Владивосток, 2017. С. 274-280.

19. Шевелев М.С. Инструкции и методические рекомендации по сбору и обработке биологической информации в районах исследований ПИНРО. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2001. 291 с.

## СОВРЕМЕННОЕ КАЧЕСТВО РЕЧНЫХ ВОД УЗБЕКИСТАНА

Э.И. Чембарисов<sup>1)</sup>, Р.Т. Хожамуратова<sup>1)</sup>, М.Н. Рахимова<sup>1)</sup>, С.Р. Шодиев<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем, Ташкент,  
*echembar@mail.ru*

<sup>2)</sup>Навоийский Государственный Педагогический Институт, Навои,  
*Sanjar\_arab@mail.ru*

*Материалы и методы исследования:* основой произведенных исследований является бассейновый ландшафтно-галогеохимический метод, согласно которому все характеристики водного, твердого и химического стоков необходимо рассматривать по отдельным речным бассейнам. В случае, если объектом исследования является крупный трансграничный речной бассейн подобно бассейну р. Амударьи или Сырдарьи, то гидрологические и гидрохимические характеристики следуют рассматривать начиная с зоны формирования стока, затем в зоне транзита, и наконец, в зоне его рассеивания.

В состав намеченных исследований входило выполнение следующих задач:

- генезис и формирование качества речных вод в различных бассейнах при глобальном изменении климата (вклад жидких и твердых осадков, таяние снега и ледников, выклинивание подземных вод и др.), анализ динамики источников питания рек и их типов;

- влияние антропогенного фактора на гидрологический режим рек в различные по водности годы и на время прохождения половодья и паводков;

- современное состояние агроландшафтов и их историческое изменение (состав выращиваемых сельскохозяйственных культур, степень засоления и загрязнения и др.);

- анализ поступления величин солевого стока речными водами на агроландшафты и их выноса через коллекторно-дренажные воды. Взаимосвязь загрязнения существующих агроландшафтов с характеристиками выделенных биогеохимических провинций;

- выявление закономерностей и трендов в изменении режима рек, засоления агроландшафтов и прогноз их состояния.

О динамике солевого стока рек Средней Азии (значительная часть которого в настоящее время поступает на орошаемые земли) судили по начальным гидрологическим створам, расположенным выше орошаемых массивов. Величина солевого стока определялась общепринятым способом, как произведение водного стока на среднегодовую величину минерализации. Было выявлено, что для расчетных задач, можно обойтись "взвешиванием" данных по минерализации за два периода: а) половодья (с точки зрения ирригаторов - вегетационный период) и б) межени (невегетационный период).

*Основные результаты:* во время исследований было изучено влияние качества воды на мелиоративное состояние исследуемых агроландшафтов, служащих основой для рационального использования водных ресурсов Узбекистана.

Данная проблема является весьма обширной и требует изучения различных ее аспектов. Одним из аспектов является изучение многолетнего изменения минерализации и химического состава речных вод региона (1-3).

*Бассейн Амударьи.* Содержание токсичных солей в воде Амударьи повышено уже в верховье реки (у створа Термез): здесь углекислый кальций не преобладает над другими солями. Даже в половодье в последние годы в воде преобладают сульфат натрия и хлорид натрия. В межень содержание последней соли увеличивается до 4,12 мг/экв.

Был проведен анализ динамики изменения этих ингредиентов в этой реке. Оказалось, что в данной реке у створа Керки минерализация воды с 1931-1940 гг. к 2001-2015 гг. увеличилась с 0,5 до 070 г/л, а химический состав воды изменился с сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатного-натриево-кальциевого (СХГ-НК) на гидрокарбонатно-хлоридно-сульфатный-натриево-магниевый-кальциевый (ГХС-НМК). К нижнему течению реки в воде сохраняются те же соли, только иногда в ней образуется хлорид магния. В связи с ростом минерализации содержание всех солей в воде увеличивается, особенно это относится к хлориду натрия, токсичность которого, по оценке мелиораторов, равна 7 баллам.

К створу Саманбай содержание токсичных солей в речной воде вновь несколько увеличивается. Преобладающее место занимает хлорид натрия: в межень до 15,63 мг-экв. Повышено также содержание сульфата магния: до 8,22 мг-экв. Содержание нетоксичных солей в сумме достигает всего 8,00 мг-экв. В нижнем течении р. Амударья в последние годы значительно увеличилась минерализация речной воды, так, у Саманбая она в отдельные месяцы сейчас повышается до 2,17 г/л.

Хорошая по качеству вода в верхнем течении р. Сурхандарья, особенно во время половодья, когда в ней преобладает двууглекислый кальций. В межень содержание токсичных солей несколько увеличивается, но качество воды в целом не меняется.

*Бассейн Сырдарьи.* В воде р. Нарын в половодье преобладает углекислый кальций, из токсичных солей присутствуют сульфат магния и хлориды натрия и магния. В межень содержание токсичных солей увеличивается, причем кроме сульфата магния, в воде появляется и сульфат натрия.

В воде р. Карадарья и в половодье, и в межень содержатся одни и те же соли, только в зимние месяцы повышено содержание сульфата натрия. Состав солей не меняется внутри года и в самой Сырдарье после слияния Нарына и Карадарьи, только в межень содержание каждой соли значительно выше. Не меняется состав солей в Сырдарье и при выходе ее из Ферганской долины, только их содержание по сравнению с верхним течением еще больше возрастает. Преобладающее место среди солей занимают сульфаты магния и кальция.

Очень хорошая по качеству вода р. Ахангаран: среди солей здесь преобладает углекислый кальций, который не токсичен. Содержание токсичных солей не очень велико: 0,04-0,34 мг-экв.

В устье реки содержание солей значительно меняется: в воде начинает преобладать сульфат магния и появляется в значительном количестве хлористый натрий. Похожая картина наблюдается и в р. Чирчик. Если в верховье реки вода является вполне пригодной для орошения, а содержание токсичных солей колеблется от 0,08 до 0,39 мг-экв, то к устью реки содержание токсичных солей значительно увеличивается, особенно в межень. Так, например, содержание сульфата магния доходит до 3,85 мг-экв, сульфата натрия – до 2,21 и хлорида натрия – до 1,35 мг-экв.

Был проведен анализ динамик изменения этих ингредиентов в другой крупной трансграничной Сырдарье. В данной реке у створа г. Бекабад (к. Кызылкишлак) минерализация воды с 1925-1950 гг. к 2001-2015 гг. увеличилась с 0,42 до 1,27 г/л, а химический состав воды изменился с сульфатно-гидрокарбонатного – магниево-кальциевого (СГ-МК) на сульфатный – магниево-натриево-кальциевый (С-МНК).

*Выводы:*

- в речных водах Средней Азии постоянно содержатся различные химические элементы (соли естественного происхождения, тяжелые металлы, остатки ядохимикатов и удобрений и т.д.), которые при орошении вызывают различные изменения в физико-химических свойствах орошаемых почв. Одну из опасностей для орошаемой зоны Средней Азии представляет процесс засоления поливных земель. По проведенным расчетам, на орошаемые поля сейчас ежегодно поступает 55,0-60,0 млн.т различных солей естественного происхождения, при этом 40,0-46,0 млн.т солей выносятся из зоны формирования речного стока (горная область), а 17,0-19,0 млн.т из почв и пород нижних частей речных бассейнов в результате повторного использования некоторого объема речного стока на поливы. Ввиду такого значительного поступления солей доля площади в различной степени засоленных почв от общей орошаемой площади в некоторых ирригационных районах (Сурхан-Шерабадский, Тахиаташский, Кызылординский) увеличилась до 60-90 %, что значительно ухудшило их мелиоративное состояние.

- анализ состояния некоторых элементов водно-солевого баланса орошаемых массивов показал, что наиболее тяжелое мелиоративное состояние орошаемых земель наблюдается сейчас в нижних частях бассейнов Амударьи и Сырдарьи, которые после прекращения поступления речного стока в Аральское море, являются зоной аккумуляции солевого и твердого стоков этих рек.

- во всех реках в составе солей преобладают следующие: двууглекислый кальций, сульфаты кальция, магния, натрия и хлорид натрия, иногда в воде обнаруживается присутствие двууглекислого магния и хлорида магния. Первые две соли являются не токсичными, а остальные токсичные. Токсичность речных вод увеличивается при смене фаз гидрологического режима рек с половодья на межень, а также по длине рек. В связи с повышением минерализации речных вод и ухудшением их состава в средних и особенно нижних участках рек ирригационное качество воды стало удовлетворительным.

### Список литературы

1. Чембарисов Э.И., Бахритдинов Б.А. Гидрохимия речных и дренажных вод Средней Азии. Ташкент, Укитувчи, 1989. 232 с.
2. Чембарисов Э.И., Хожамуратова Р.Т. Коллекторно-дренажные воды Республики Каракалпакстан / Нукус, «Билим», 2008. 56 с.
3. Чембарисов Э.И., Насрулин А.Б., Лесник Т.Ю., Хожамуратова Р.Т. Генезис, формирование и режим поверхностных вод Узбекистана и их влияние на засоление и загрязнение агроландшафтов (на примере бассейна реки Амударья). Нукус, Изд.: Каракалпакстан, 2016. 187 с.





## **1. Закономерности формирования состава поверхностных вод суши в условиях антропогенного воздействия, трансформация и миграция растворенных и взвешенных веществ в водных объектах**

**УДК 551.48(479.24) Абдуев М.А.** Исследование химического состава и солевого стока речных вод Нахичеванской Автономной Республики

В статье проанализирован химический состав речных вод Нахичеванской Автономной Республики и определены состав и количество растворенных солей. Для расчетов гидрохимических показателей использованы данные мониторинга, проводимого Департаментом по мониторингу окружающей среды Министерство Экологии и природных ресурсов Азербайджана за период 1995-2018. Выявлено, что в водах рек преобладают в основном пять различных солей: гидрокарбонаты кальция и магния, сульфаты магния и натрия, хлористые натрий. Произведена оценка выноса реками республики растворенных солей.

Ключевые слова: Нахичеванская Автономная Республика, химический состав, солевой сток, растворенные соли, катионы, анионы

**UDC 551.48(479.24) Abduev M.A.** Research of the chemical composition and salt line of river waters of the Nakhichevan Autonomous Republic

The article analyzes the chemical composition of river waters of the Nakhchivan Autonomous Republic and determines the composition and amount of dissolved salts. For calculations of hydrochemical indicators, the monitoring data conducted by the Department of Environmental Monitoring of the Ministry of Ecology and Natural Resources of Azerbaijan for the period 1995-2018 were used. It was revealed that mainly five different salts prevail in river waters: calcium and magnesium bicarbonates, magnesium and sodium sulfates, and sodium chloride. The assessment of the removal by the rivers of the republic of dissolved salts is carried out.

Keywords: Nakhchivan Autonomous Republic, chemical composition, salt flow, dissolved salts, cations, anions

**УДК 556.111.6 Григорьева И.Л., Кузовлев В.В.** Пространственно-временная изменчивость содержания нитратов и фосфатов в воде Иваньковского водохранилища и его основных притоков

Целью исследований стало изучение пространственно-временной изменчивости содержания нитратов и фосфатов в воде Иваньковского водохранилища и его основных притоков (Волги и Тверцы) в 2016-2019 гг. Для анализа использованы данные мониторинговых наблюдений Тверского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Нитратный азот и фосфатный фосфор определялись фотометрически в профильтрованных через мембранный фильтр 0,45 мкм пробах воды. Среднегодовые концентрации нитратов и фосфатов в створах наблюдений ниже городов Торжок и Тверь более высокие, чем в створах выше городов. В летний период концентрации нитратов и фосфатов в поверхностном слое Иваньковского водохранилища в среднем ниже, чем в придонном слое, что вероятно связано с более активным развитием у поверхности фитопланктона, потребляющего биогенные компоненты. Наиболее высокие концентрации нитратов в воде водохранилища и его основных притоков наблюдаются весной и обусловлены поступлением нитратов с поверхностным стоком в период половодья. Минимальные концентрации нитратов наблюдаются летом в период «цветения» воды. Закономерностей внутригодовой динамики фосфатов не выявлено.

Ключевые слова: Иваньковское водохранилище, Волга, Тверца, нитраты, фосфаты, пространственно-временная изменчивость

**UDC 556.111.6 Grigorieva I.L., Kuzovlev V.V.** Spatial-temporal variability of nitrate and phosphate content in water of the Ivankovsky Reservoir and its main flows

The aim of the research was to study the spatial and temporal variability of the content of nitrates and phosphates in the water of the Ivankovo Reservoir and its main tributaries (the Volga and Tvertsa) in 2016-2019. Data from monitoring observations of the Tver center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring were used for the analysis. Nitrate nitrogen and phosphate phosphorus were determined photometrically in water samples filtered through a 0.45 μm membrane filter. The average annual concentrations of nitrates and phosphates in the observation points below the cities of Torzhok and Tver are higher than in the points above the cities. In summer, the concentrations of nitrates and phosphates in the surface layer of the Ivankovo reservoir are on average lower than in the bottom layer, which is probably due to the more active development of phytoplankton at the surface that consumes biogenic components. The highest concentrations of nitrates in the water of the reservoir and its main tributaries are observed in spring

and are caused by the influx of nitrates with surface runoff during high water. Minimum concentrations of nitrates are observed in summer during the "flowering" of water. Regularities of intra-annual dynamics of phosphates were not revealed.

Keywords: Ivankovskoe Reservoir, the Volga River, the Tvertsa River, nitrates, phosphates, spatial and temporal variability

**УДК 556.5+504.453 Даниленко А. О., Георгиади А. Г.** Изменения ионно-солевого состава воды р. Северная Двина в период современного потепления климата

В работе описаны изменения ионно-солевого состава воды р. Северная Двина у с. Усть-Пинега в периоды относительно холодного и относительно теплого климата. Выявлены изменения в составе сульфатов континентального происхождения. Показано, что увеличение зимнего стока кальция вызвано усилением химического выветривания в первую очередь карбонатных пород, так как в период современного потепления доля гипсов в сульфатах континентального происхождения снижается, а доля карбонатов континентального происхождения, наоборот, возрастает. Также показано, что в общем пуле сульфатов континентального происхождения возросла доля сульфатов натрия и калия, что может быть вызвано косвенным влиянием специфической хозяйственной деятельности на водосборе.

Ключевые слова: Северная Двина, глобальное потепление, ионно-солевой состав воды, сульфаты континентального происхождения

**UDC 556.5+504.453 Danilenko A. O., Georgiadi A. G.** Changes of the ion composition in the water of Northern Dvina during the modern climate warming

Changes of the ion composition in the water of Northern Dvina (v. Ust-Pinega) during periods of cold and warm climate are described. Changes in the sulfates of continental genesis composition were revealed. It was shown that increasing of the winter calcium flux caused by intensification of carbonate rocks chemical weathering. It is proven by decreasing of the gypsum proportion in continental genesis sulfates and the increasing of the proportion in continental genesis carbonate during modern warming. It is also shown that in the total pool of continental genesis sulfates the proportion of sodium and potassium sulfates was grown, which may be caused by the indirect influence of specific anthropogenic factors.

Keywords: Northern Dvina, global warming, water ion composition, sulfates of continental genesis

**УДК 556.5+504.453 Даниленко А.О., Коваленко А.А., Косменко Л.С., Кондакова М.Ю., Решеняк О.С.** Метод оценки стационарного состояния водных объектов на примере рек полуострова Камчатка

В работе представлены результаты оценки стационарного состояния некоторых рек полуострова Камчатка по содержанию главных ионов. Описан способ построения фазового портрета речной экосистемы для выявления природной концентрации растворенного вещества. Приведена классификация типов фазовых портретов и способов их анализа в зависимости от характера траектории изображающей точки. На примере рек Паратунка, Авача и Камчатка выявлены и количественно охарактеризованы природные концентрации и тренды главных ионов.

Ключевые слова: фазовый портрет, стационарное состояние, природная концентрация, главные ионы, реки полуострова Камчатка

**UDC 556.5+504.453 Danilenko A.O., Kovalenko A.A., Kosmenko L.S., Kondakova M.Yu., Reshenyak O.S.** Method for assessing the stationary state of water bodies on the example of rivers on the Kamchatka Peninsula

The results of assessing of the Kamchatka Peninsula rivers steady state by the content of the main ions are demonstrated. A method of river ecosystem a phase portrait plotting for identifying the natural concentration of a dissolved substance is described. A classification of the types of phase portraits and methods of their analysis, depending on the nature of the trajectory of the representing point, is given. Natural concentrations and trends of the main ions in the Paratunka, Avacha and Kamchatka rivers have been identified and quantitatively characterized.

Keywords: phase portrait, steady state, natural concentration, main ions, rivers of the Kamchatka Peninsula

**УДК 556.532; 556.512 Долгов С.В., Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А.** Современные особенности водно-биогеогенного баланса речных водосборов в северной части лесостепной зоны в бассейне Волги

На примере р. Кудьмы определены основные составляющие водно-биогенного баланса речных водосборов в северной части лесостепной зоны, оценен вклад поверхностной и подземной составляющих стока в диффузный вынос минерального азота и фосфора. Дана оценка соотношению природных и антропогенных факторов в поступлении биогенных веществ на водосбор р. Кудьмы. Установлено, что к числу наиболее важных природных факторов относится опад лесной растительности, а антропогенных – отходы животноводства. Заметную роль в балансе азота на водосборе Кудьмы играют атмосферные осадки. Показано, что преобладает диффузный вынос биогенных веществ с поверхностным и подземным стоком. Установлено, что за счет изменившихся гидроклиматических условий, приведших к уменьшению поверхностного стока и значительному увеличению подземного стока, вынос с водосборной площади азота и фосфора в последние годы существенно вырос.

Ключевые слова: речной водосбор, баланс азота и фосфора, поверхностный и подземный сток, изменения

**UDC 556.532; 556.512 Dolgov S.V., Koronkevich N.I., Barabanova E.A.** Modern features of the river catchments water-biogenic balance in the northern forest-steppe zone of the Volga basin

The main components of the river catchments water-biogenic balance in the northern forest-steppe zone were determined on the example of the Kudma River. The contribution of the surface and underground runoff components to the diffuse removal of mineral nitrogen and phosphorus was estimated. The ratio of natural and anthropogenic factors in the supply of nutrients to the Kudma River catchment is estimated. It has been established that among the most important natural factors is the litter of forest vegetation, while among the anthropogenic factors – livestock waste. The atmospheric precipitation plays a significant role in the nitrogen balance of the Kudma catchment. It is shown that diffuse removal of nutrients with surface and underground runoff predominates. It was established that due to the changed hydroclimatic conditions that led to a decrease in surface runoff and to a significant increase in underground runoff, the removal of nitrogen and phosphorus from the catchment area has increased significantly in recent years.

Keywords: river catchment, balance of nitrogen and phosphorus, surface and underground runoff, changes

**УДК 556.535.8 Дреева Ф. Р., Реутова Н. В., Реутова Т. В.** Динамика содержания алюминия в основных реках Центрального Кавказа при изменении абсолютных высот

Изучена вероятная связь между изменением содержания алюминия и уменьшением абсолютной высоты в пунктах отбора проб на реках Малка, Баксан, Чегем и Черек. Пробы воды отбирали на высотах 390-2550 м над уровнем моря в 2014-2018 годах в период максимального таяния ледников. Содержание алюминия в пробах определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии. В результате исследования был сделан вывод, что при уменьшении абсолютных высот в реках Баксан и Чегем уменьшается содержание алюминия. В реках Малка и Черек эта закономерность нарушается из-за влияния состава дренируемых горных породы изменения гидрохимических условий.

Ключевые слова: алюминий, абсолютная высота, Малка, Баксан, Чегем, Черек

**UDC 556.535.8 Dreeva F. R.; Reutova N. V.; Reutova T. V.** Dynamics of aluminum content in the main rivers of the Central Caucasus with changes in absolute heights

The probable relationship between the change in aluminum content and the decrease in absolute height at sampling points on the Malka, Baksan, Chegem and Cherek rivers was studied. Water samples were taken at altitudes of 390-2550 m above sea level in 2014-2018 during the maximum melting of glaciers. The aluminum content in the samples was determined by atomic absorption spectrometry. As a result of the study, it was concluded that when the absolute heights in the Baksan and Chegem rivers decrease, the content of aluminum decreases. In the Malka and Cherek rivers, this pattern is violated due to the influence of the composition of drained rocks and changes in hydrochemical conditions.

Keywords: aluminum, absolute height, Malka, Baksan, Chegem, Cherek

**УДК 502.51 Захарова М.В.** Факторная модель состава речных вод Оки в фоновом створе города Калуги

Данная статья посвящена исследованию факторной структуры показателей, характеризующих качество воды р. Оки в г. Калуга. Факторный анализ, как метод многомерной статистики, дает возможность выявить структуру связей между исследуемыми показателями. Процедура факторного анализа осуществлялась с помощью пакета Statistica. Установлено, что два первых фактора объясняют около 65 % дисперсии исходных рядов. Значимость первого фактора в формировании

общей дисперсии составляет 52,0 %, второго фактора – 12,6 %. Наибольшую нагрузку на первый фактор имеет сумма ионов (0,90), на второй фактор – прозрачность (0,86) и рН (0,86) воды. Модель признана адекватной, поскольку количество независимых остатков ( $>0,10$ ) достаточно невелико. Факторный анализ дал возможность выявить 12 репрезентативных показателей, имеющих наибольшую факторную нагрузку. Сделан вывод о том, что факторная модель отражает реальные связи между отдельными показателями, характеризующими состав речных вод.

Ключевые слова: показатели, коэффициент корреляции, дисперсия, факторные нагрузки, факторный анализ

**UDC 502.51 Zakharova M.V.** Factor model of the Oka river water composition in the background section of the Kaluga city

This article is devoted to the study of the factor structure of indicators that characterize the water quality of the Oka River in Kaluga. Factor Analysis, as a method of multivariate statistics, makes it possible to identify the structure of relations between the studied indicators. The procedure of Factor Analysis was completed by the Statistica application. It is determined that the first two factors explain about 65 % of the variance of the initial series. The significance of the first factor in the formation of the total variance is 52.0 %, and the second factor is 12.6 %. The greatest loadings on the first factor is the sum of ions (0.90), on the second factor – the transparency (0.86) and pH (0.86) of water. The model is accepted as adequate, because of the number of residual correlation ( $>0.10$ ) is quite small. Factor Analysis have made it possible to identify 12 representative indicators with the highest factor loadings. It is concluded that the factor model demonstrates the real relations between individual indicators that characterize the composition of river waters.

Keywords: indicators, correlation coefficient, variance, factor loadings, Factor Analysis

**УДК 504.4.064.02 Зубков Е.А., Гарькуша Д.Н., Барцев О.Б.** Массоперенос главных ионов при разгрузке подземных вод четвертичного водоносного комплекса в Азовское море

Рассмотрена специфика химического состава подземных вод доминирующего по объему стока четвертичного водоносного комплекса водосборного бассейна Азовского моря. С использованием детерминированных моделей рассчитан объем стока главных ионов. Преобладающими являются сульфатные, хлоридно-сульфатные или сульфатно-хлоридные, реже гидрокарбонатные и хлоридные воды, как правило, натриевого или кальциевого катионного состава. Среднегодовой объем стока подземных вод четвертичного комплекса составляет около 0,024 км<sup>3</sup>/год (66300 м<sup>3</sup>/сут). Среднегодовая величина подземного ионного стока составляет ~387000 т/год, при этом 47,2 % данной величины приходится на сульфат-ионы. Доминирующий вклад (свыше 98 %) в величину объема подземного стока главных ионов вносит их сток с северных участков водосборного бассейна моря, что обусловлено, главным образом, распределением модуля стока подземных вод.

Ключевые слова: бассейн Азовского моря, подземные воды, четвертичный водоносный комплекс, минерализация, химический состав, подземный массоперенос.

**UDC 504.4.064.02 Zubkov E.A., Garkusha D.N.** Mass transfer of main ions during discharge of underground waters of the quaternary aquifer complex to the Sea of Azov

The specificity of the chemical composition of underground waters of the Quaternary aquifer complex of the Azov sea catchment basin, which dominates the flow volume, is considered. The volume of main ion runoff is calculated using deterministic models. The predominant ones are sulphate, chloride-sulphate or sulphate-chloride, less often bicarbonate and chloride waters, usually of a sodium or calcium cationic composition. The average annual volume of underground water flow in the Quaternary complex is about 0.024 m<sup>3</sup> / year (66.300 m<sup>3</sup>/day). The average annual value of underground ion runoff is ~387.000 t / year, with 47.2 % of this value accounted for by sulfate ions. The dominant contribution (over 98 %) to the volume of underground runoff of the main ions is made by their runoff from the Northern sections of the sea catchment basin, which is mainly due to the distribution of the groundwater flow module.

Keywords: basin of the Sea of Azov, underground waters, quaternary water-bearing complex, mineralization, chemical composition, underground mass transfer.

**УДК 551. 324. 2+556.5 Керимов А.М., Курашева О.А.** Деградация оледенения Центрального Кавказа с конца XIX века и характеристика химического состава речных вод ледникового питания

Цель-характеристика содержания тяжелых металлов в речных водах ледникового питания Центрального Кавказа с середины XX века. Результаты. Показано изменение современного оледенения северного склона Большого Кавказа с конца XIX века до 30- х годов нынешнего. Представлены результаты анализа проб льда, снега и речных проб на содержание тяжелых металлов в

разных ледниках и речных водах Центрального Кавказа. Выводы. Полученные результаты выявили, что концентрации тяжелых металлов в сезонной снежной толще ледниках и в речных водах ледникового питания у их истоков, как правило на один-два порядка ниже предельно допустимой концентрации для водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения и могут быть использованы хозяйственных потребностей.

Ключевые слова: ледник, Эльбрус, Уллукол, Гарабаша, Безенги, Мижирги, тяжелые металлы

**UDC 551. 324. 2+556.5 Kerimov A.M., Kurasheva O.A.** Degradation of glaciation of the Central Caucasus since the end of the 19th century and the chemical composition of the river

The goal is to characterize the content of heavy metals in the river waters of the glacial nutrition of the Central Caucasus since the middle of the 20th century. Results. The change in the modern glaciation of the northern slope of the Greater Caucasus from the late nineteenth century to the 30s of the present is shown. The results of the analysis of ice, snow, and river samples for the content of heavy metals in different glaciers and river waters of the Central Caucasus are presented. Findings. The results revealed that the concentrations of heavy metals in the seasonal snow mass of glaciers and in river waters of glacial nutrition at their sources are usually one to two orders of magnitude lower than the maximum permissible concentration for water bodies for drinking, cultural and domestic purposes and household needs can be used

Key words: glacier, Elbrus, Ullukol, Garabashi, Bezengi, Mizhirgi, heavy metals

**УДК 556.114.6 (282.247.363.6) Клещенков А.В., Коршун А.М.** Изменения ионного состава Цимлянского водохранилища в маловодный период

Главным фактором формирования ионного состава Цимлянского водохранилища является соотношение долей генетических категорий природных вод в поступающем жидком стоке Дона в створе Калача-на-Дону. Анализ материалов экспедиционных работ ЮНЦ РАН за период 2007-2019 гг. и фондовых данных позволил установить, что увеличение приточности воды во время весеннего половодья способствует понижению общей минерализации воды Цимлянского водохранилища и отдельных компонентов ионного состава, связанных с грунтовым питанием, таких как сульфат-ион. В тоже время, увеличение меженного стока, напротив, способствует увеличению минерализации воды. В условиях продолжающейся череды маловодных лет стоит ожидать дальнейшее увеличение минерализации воды Цимлянского водохранилища с достижением неблагоприятных значений на нижележащих участка долины Дона.

Ключевые слова: Цимлянское водохранилище, ионный состав, маловодье, минерализация.

**UDC 556.114.6 (282.247.363.6) Kleshchenkov A.V., Korshun A.M.** Changes in the ion composition of the Tsimlyansk reservoir in the low-water period

The main factor in the formation of the ionic composition of the Tsimlyansk reservoir is the ratio of the shares of the genetic categories of natural waters in the incoming liquid runoff of the Don in the Kalach-on-Don section. Analysis of materials of the expeditionary work of the SSC RAS for the period 2007-2019 and stock data made it possible to establish that an increase in water inflow during the spring flood contributes to a decrease in the total salinity of the Tsimlyansk reservoir and certain components of the ionic composition associated with ground feeding, such as sulfate ion. At the same time, an increase in low-water runoff, on the contrary, contributes to an increase in water mineralization. With the ongoing series of dry years, we can expect a further increase in the mineralization of the Tsimlyansk reservoir with unfavorable values in the lower reaches of the Don valley.

Keywords: Tsimlyansk reservoir, ionic composition, low water, mineralization

**УДК 556.53, 556.114, 556.16 Кондакова М.Ю., Даниленко А.О., Решетняк О.С., Косменко Л.С., Коваленко А.А.** Сток растворенных химических веществ рек Западно- и Восточно-Сибирской частей Российской Арктики: пространственная неоднородность и основные тенденции многолетней изменчивости

Изменчивость химического стока отражает естественные и антропогенные механизмы формирования стока воды и содержания химических веществ в водных объектах. Результаты расчета и анализа среднесуточных объемов стока растворенных химических веществ рек Западно- и Восточно-Сибирской частей Арктики показали их высокую пространственную неоднородность, обусловленную не только заметной разницей в объемах их водного стока, но и уровнем хозяйственного освоения водосборных территорий. Выявлено, что при сохраняющихся темпах изменения климата и антропогенного воздействия ионный сток, равно как и сток органических веществ, будет увеличиваться как на территории Западной, так и на территории Восточной Сибири. Сток биогенных веществ будет уменьшаться на территории Западной и увеличиваться на территории

Восточной Сибири. Сток нефтепродуктов, соединений железа и меди будет в основном уменьшаться в обеих частях Арктики.

Ключевые слова: Арктическая зона, реки, химический сток

**UDC 556.53, 556.114, 556.16 Kondakova M.Yu., Danilenko A.O., Reshetnyak O.S., Kosmenko L.S., Kovalenko A.A.** Rivers' chemical runoff in the West and East Siberian parts of the Russian Arctic: spatial heterogeneity and trends of long-term variability

The variability of the chemical runoff displays the natural and anthropogenic mechanisms of the water runoff's formation and the chemical substances' content in water bodies. The results of calculating and analyzing the mean-annual volumes of the chemical runoff for the rivers of the West and East Siberian parts of the Arctic showed their high spatial heterogeneity. This heterogeneity is due not only to a noticeable difference in the water flow's volumes of investigated rivers, but also to the economic development level of their catchment areas. It has been revealed that with the continued rates of climate change and anthropogenic impact, the ionic runoff, as well as the organic matters' runoff, will increase both in Western and Eastern Siberia. The nutrients runoff will decrease in Western Siberia and increase in Eastern Siberia. The runoff of oil products, iron compounds and copper compounds will mainly decrease in both parts of the Arctic.

Keywords: Arctic zone, rivers, chemical runoff

**УДК 556.531.4 Кондакова М.Ю., Даниленко А.О., Решетняк О.С., Косменко Л.С., Коваленко А.А.** Химический состав речных вод в различных природных зонах Западной Сибири: пространственная неоднородность и тенденции изменчивости

Результаты анализа пространственной изменчивости усредненных медианных концентраций химических веществ в речных водах различных природных зон Западной Сибири показали увеличение их неоднородности от зоны тундры и лесотундры к зоне степей. Исключение составляют гидрокарбонаты, растворенный кислород, кремний, фенолы и соединения никеля, вариабельность содержания которых от одной природной зоны к другой изменяется незначительно.

Результаты анализа временной изменчивости содержания химических веществ в речных водах Западной Сибири показали преобладание бестрендовых выборок концентраций над выборками, где тренд статистически подтвержден, в более чем половине случаев. Среди статистически обнаруженных трендов отмечается преобладание возрастающих тенденций значений концентраций химических веществ над убывающими для главных ионов и биогенных веществ. Обратная картина отмечается для органических веществ и соединений металлов, причем для фенолов, нефтепродуктов и соединений меди возрастающих тенденций выявлено не было.

Ключевые слова: Западная Сибирь, природные зоны, реки, неоднородность химического состава вод, тренд

**UDC 556.531.4 Kondakova M.Yu., Danilenko A.O., Reshenyak O.S., Kosmenko L.S., Kovalenko A.A.** Chemical composition of river waters in different natural zones of Western Siberia: spatial heterogeneity and trends of variability

The analysis results of the spatial variability of the chemicals' average median concentrations in the river waters of different natural zones of Western Siberia showed an increase in their heterogeneity from the tundra and forest-tundra zones to the steppe zone. Exceptions are hydrocarbonates, dissolved oxygen, silicon compounds, phenols and nickel compounds, the content variability of which varies slightly from one natural zone to another.

The analysis results of the chemicals' content temporal variability in the river waters of Western Siberia showed that in more than half of the cases it observed the predominance of trendless concentration's selections over selections with the statistically confirmed trends. Among the statistically detected trends, there is a predominance of increasing trends in the chemicals concentrations values over decreasing ones for the main ions and biogenic substances. The opposite situation is observed for organic substances and metal compounds, and no increasing trends were found for phenols, oil products and copper compounds.

Keywords: Western Siberia, natural zones, rivers, waters chemical composition heterogeneity, trend

**УДК 551.464.7:(262.54) Косенко Ю.В.** Первичное продуцирование органического вещества в Азовском море в 2019 г.

Целью работы явилось изучение уровня первичного продуцирования органического вещества фитопланктоном в Азовском море в 2019 г. Гидрохимические исследования были проведены в летний (июль, август) и осенний (октябрь) периоды года на 32 комплексных станциях, расположенных по всей акватории собственно моря и Таганрогского залива. В условиях продолжающегося роста солености в 2019 г. на акватории собственно моря и Таганрогского залива

наблюдалось снижение величины первичной продукции относительно среднесуточного уровня (2007-2018 гг.). Интенсивный фотосинтез фитопланктона отмечен в районах влияния пресного стока рек Дон и Кубань – юго-восточная и восточная половина моря, восточный район Таганрогского залива. В центральной части Таганрогского залива в летний и осенний периоды года отмечено гипертрофирование, приводящее к недонасыщению воды кислородом.

Ключевые слова: Азовское море, первичная продукция, соленость, кислород, хлорофилл «а», общий азот, общий фосфор

**UDC 551.464.7:(262.54) Kosenko J.V.** Primary production of organic matter of the Azov Sea in 2019

The aim of the study was to study the level of primary production of organic matter by phytoplankton of the Azov Sea in 2019. Hydrochemical studies were conducted in the summer (July, August) and autumn (October) periods of the year at 32 integrated stations located throughout the water area of the Sea proper and the Taganrog Bay. Under the conditions of continuing salinity growth in 2019, the water area of the Sea proper and the Taganrog Bay saw a decrease in the value of primary production relative to the average long-term level (2007-2018). Intensive photosynthesis of phytoplankton was observed in the areas affected by the fresh flow of the Don and Kuban rivers – the South-Eastern and Eastern half of the Sea, the Eastern region of the Taganrog Bay. In the Central part of the Taganrog Bay in the summer and autumn periods of the year, hypertrophy was observed, leading to under-saturation of water with oxygen.

Keywords: Azov Sea, primary production, salinity, oxygen, chlorophyll "a", total nitrogen, total phosphorus

**УДК 504.054 Косменко Л.С., Решетняк О.С., Даниленко А.О., Кондакова М.Ю.**

Неоднородность распределения содержания соединений металлов в речных водах Европейской части России с учетом гидрохимической зональности

В статье рассмотрена неоднородность распределения содержания соединений щелочно-земельных и тяжелых металлов в речных водах Европейской территории России (ЕТР) с учетом зональных и азональных факторов. При оценке изменчивости содержания металлов в речных водах ЕТР использованы принцип физико-географической дифференциации территории на провинции и статистические методы анализа многолетних данных. Показано, что закономерности широтной зональности, хорошо проявляющиеся в пространственном распределении концентраций катионов щелочно-земельных металлов, нарушаются для тяжелых металлов, что может быть связано усилением роли антропогенного фактора в формировании химического состава рек. Выявленные очень высокие концентрации металлов в речных водах ЕТР являются «гидрохимическими аномалиями». Наибольшее количество таких случаев характерно для ионов кальция и соединений железа.

Ключевые слова: реки Европейской территории России, щелочно-земельные металлы, тяжелые металлы, гидрохимическая зональность, гидрохимические аномалии

**UDC 504.054 Kosmenko L.S., Reshenyak O.S., Danilenko A.O., Kondakova M.Yu.**

Heterogeneity of the content of metal compounds distribution in river waters of the European part of Russia taking into account the hydrochemical zonality

The article examines the heterogeneity of the alkaline earth and heavy metal compounds contents distribution in the river waters of the European Russia (ER) depending on the zonal and azonal factors. When assessing the variability of the metal contents in the river waters of the ER the principle of physiographic differentiation of the area into provinces and statistical methods for analyzing long-term data were used. It is shown that the regularities of latitudinal zoning which are clearly appeared in the spatial distribution of the concentrations of alkaline-earth metal cations are violated for heavy metals which may be related to the increased role of the anthropogenic factor in the formation of the chemical composition of rivers. The revealed extremely high concentrations of metals in the river waters of the ER are «hydrochemical anomalies». In most cases it is characteristic for calcium ions and iron compounds.

Keywords: rivers of the European Russia, alkaline-earth metals, heavy metals, hydrochemical zonality, hydrochemical anomalies

**УДК 556.114:504454.058 (282.247.38) Кулий О.Л.** Типизация водоемов дельты р. Кубани  
Дельта р. Кубани является уникальным природным комплексом, состоящим из лиманов, лагун и



дельтовых озёр. Выделены пять типов водных объектов, исследованы минерализация и состав воды, растворенные газы, первичная продукция фитопланктона и погруженной растительности.

Ключевые слова: дельта р. Кубани, типы водоемов, минерализация воды, растворенные газы, первичная продукция.

**UDC 556.114:504454.058 (282.247.38) Kulyi O.L.** Types of water body of Kuban river delta

The Kuban River delta is a unique natural complex. There are many different water body: limans, lagoons and deltaic lakes. We distinguish five types of deltaic water body. Investigate mineral composition of water, dissolve gases, primary production of submarine water plants and phytoplankton of each types.

Keywords: Kuban River delta, Types of Water Body, mineral composition of water, dissolve gases, primary production.

**УДК 556.531 Лапина Е.Е., Кудряшова В.В.** Анализ многолетней динамики химического состава реки Донховка – притока Иваньковского водохранилища (Тверская область)

Проанализированы результаты многолетних исследований (1998–2019) гидрохимического режима реки Донховка - притока Иваньковского водохранилища. Показана устойчивость компонентов солевого состава, связанная с разгрузкой в русло напорных вод. В результате статистического анализа выявлено, что в маловодные годы среднегодовые концентрации аммонийного азота снижаются, в многоводные - возрастают. Независимо от водности года наблюдается рост среднегодовых концентраций минерального и общего фосфора (в 1.5 – 2.5 раза), что говорит о дополнительном постоянном источнике его поступления. Анализ показал залповое поступление в реку нитратного азота.

Ключевые слова: биогенные вещества, напорные воды, притоки, Иваньковское водохранилище

**UDC 556.531 Lapina E.E., Kudrjashova V.V.** Analysis of long-term dynamics of the chemical composition of the Donhovka river – a tributary of the Ivankovo reservoir (Tver region)

Results of multiple years research (1998–2019) of hydrochemical regime of the Donkhovka River, a tributary of the Ivankovo reservoir, are analyzed. Stability of salt composition components associated with the discharge into the channel of artesian water is shown. As a result of statistical analysis, it was revealed that in dry years, the average annual concentration of ammonium nitrogen decreases, in high-water years, it increases. Regardless of the water content of the year, there is an increase in average annual concentrations of mineral and total phosphorus (1.5–2.5 times), which indicates an additional constant source of its input. The analysis showed a volley of nitrate nitrogen into the river.

Keywords: biogens, artesian water, tributaries, Ivankovo reservoir

**УДК 556.551:597-15 Лапина Н.М.** Анализ гидрохимических показателей среды обитания гидробионтов в рыбохозяйственных водоёмах Московской области в различные сезоны

Дается анализ сезонных изменений гидрохимических показателей в водоёмах рыбохозяйственного назначения Московской области. Контроль за содержанием гидрохимических показателей в воде рыбохозяйственных водоёмов проводился в соответствии с рыбохозяйственным нормативом предельных допустимых концентраций вредных веществ (ПДК) в водах рыбохозяйственных водоёмов. Показано, что по гидрохимическим показателям большинство водоёмов можно отнести к водоёмам с благоприятной экологической обстановкой и хорошими условиями для обитания рыб, за исключением Химкинского водохранилища из-за высокого антропогенного загрязнения.

Ключевые слова: гидрохимические показатели, среда обитания, мониторинг, водохранилище, гидробионты, растворённый кислород, биогенные элементы, экологическое состояние, рыбохозяйственный норматив, предельная допустимая концентрация (ПДК)

**UDC 556.551:597-15 Lapina N.M.** Analysis of hydrochemical indicators of the habitat of aquatic organisms in the fishery reservoirs of the Moscow region

The analysis of seasonal changes in hydrochemical indicators in reservoirs of fishery for the Moscow region is given. The control over the content of hydrochemical indicators in the water of fishery reservoirs was carried out in accordance with the fishery standard for the maximum permissible concentrations of harmful substances (MPC) in the waters of fishery reservoirs. It has been shown that, according to hydrochemical indicators, most water bodies can be attributed to water bodies with favorable environmental conditions and good conditions for fish habitat, with the exception of the Khimki reservoir due to high anthropogenic pollution

Keywords: hydrochemical indicators, habitat, monitoring, reservoir, hydrobionts, dissolved oxygen, nutrients, ecological status, fishery standard, maximum permissible concentration (MPC)

**УДК 556.537: 546.3: 571.62 Махинов А.Н., Махинова А.Ф., Ким В.И., Лю Шугуан** Влияние наводнений на миграционную активность тяжелых металлов, поступающих в водотоки с урбанизированных территорий

Проведена оценка влияния наводнений на миграционную активность элементов, поступающих с урбанизированных территорий в реку Амур. Дана характеристика русловых процессов и стока наносов в период наводнений. Исследованы процессы аккумуляции наносов в пойме, их влияние на перераспределения элементов и геохимические преобразования в почвенном пространстве пойменных почв. Описаны условия и механизмы концентрирования элементов в почвах, определены уровни их концентраций и миграционная активность. Установлено, что интенсивность миграционных потоков зависит от мощности наводнений и величины смыва с урбанизированных территорий. Показана роль органического вещества наилок в процессах концентрирования элементов. Выявлены и проанализированы условия миграционной активности элементов и формирования почвенно-геохимических потоков в период прохождения паводка. Дана классификация миграционных потоков в долине реки Амур.

Ключевые слова: Амур, наводнение, русловые процессы, миграционная активность, наилки, зоны миграции

**UDC 556.537: 546.3: 571.62 Makhinov A.N., Makhinova A.F., Kim V.I., Liu Shuguang** The effect of floods on the migratory activity of heavy metals entering watercourses from urban areas

The impact of floods on the migration activity of elements entering the Amur river from urbanized territories was assessed. The characteristic of riverbed processes and sediment runoff during floods is given. The processes of sediment accumulation in the floodplain, their influence on the redistribution of elements and geochemical transformations in the soil space of floodplain soils are studied. The conditions and mechanisms of concentration of elements in soils are described, their concentration levels and migration activity are determined. It is established that the intensity of migration flows depends on the power of floods and the amount of flushing from urbanized territories. The role of organic matter floodplain drift in processes of concentrating elements. The classification of migration activity of elements and formation of soil-geochemical flows during the flood are identified and analyzed.

Keywords: Amur river, flood, riverbed processes, migration activity, floodplain drift, migration zones

**УДК 556.551 Минакова Е.А., Шлычков А.П., Кондратьев С.А., Брюханов А.Ю.** Особенности формирования биогенной нагрузки Куйбышевского водохранилища в пределах Республики Татарстан

В статье дана оценка современного уровня внешней азотной и фосфорной нагрузки Куйбышевского водохранилища в пределах Республики Татарстан на основе модели, откалиброванной в соответствии с данными государственного мониторинга на пилотных участках, которые являются водосборами рек Казанка (левый приток) и Свияга (правобережный приток). Представлена приблизительная оценка биогенной нагрузки на Куйбышевское водохранилище, которая формируется на левобережной и правобережной частях водосбора с компонентами фоновой (естественной) и диффузной (антропогенной) нагрузки

Ключевые слова: биогенные вещества, эвтрофикация, сбросы, комплексная биогенная нагрузка, управление антропогенной нагрузкой.

**UDC 556.551 Minakova E.A., Shlychkov A.P., Kondratiev S.A., Bruchanov A.Yu.** Nutrient load of the Kuibyshev reservoir within the Republic of Tatarstan

The paper assesses the current level of external nitrogen and phosphorus load and its individual components on the Kuibyshev reservoir within the Republic of Tatarstan using information on the landscape structure of the drainage basin. Nutrient loading was calculated both for agricultural areas and for areas that are currently not used in agriculture. The model is calibrated in accordance with the state monitoring data at the pilot sites, which are the catchments of the Kazanka (left tributary) and Sviyaga (right-bank tributary) rivers. A rough estimate of the nutrient load on the Kuibyshev reservoir, which is formed on the left-bank and right-bank parts of the catchment, with background (natural) and diffuse (anthropogenic) load components, is presented.

Keywords: biogenous substances, eutrophication, industrial and utilities sewage, complex biogenous pollution, management of anthropogenic loading

**УДК 556.535.8504.45.064.2 Ничипорова И.П., Лобченко Е.Е.** Динамика уровня загрязненности поверхностных вод на территории федеральных округов

Анализ многолетней динамики качества поверхностных вод на территории федеральных округов РФ свидетельствует: большинство водных объектов России характеризуется удовлетворительным (3 классом) качества воды. Вместе с тем в каждом федеральном округе (за исключением Северо-Кавказского ФО) на территории отдельных субъектов Федерации отмечаются водные объекты, характеризующиеся как «грязные», «очень грязные» или «экстремально грязные», информация о которых является важным элементом для поддержки реализации задач государственного надзора и контроля за источниками загрязнения поверхностных вод и принятия управленческих решений в области охраны водных ресурсов.

Ключевые слова: качество поверхностных вод, класс качества воды, антропогенный фактор, экономическая ситуация, федеральный округ

**UDC 556.535.8504.45.064.2 Nichiporova I.P., Lobchenko Ye.Ye.** Surface water pollution dynamics in the territory of the federal districts

Based on the analysis of the long-term dynamics of surface water quality in the federal districts of the Russian Federation, it is testified that most of the water bodies in Russia are characterized by satisfactory (3rd class) water quality. At the same time, in each Federal District (with the exception of the North Caucasian Federal District), water bodies are characterized on the territory of individual constituent entities of the Federation, characterized as “dirty”, “very dirty” or “extremely dirty”, information about which is an important element to support the implementation of tasks state supervision and control over sources of pollution of surface waters and management decisions in the field of water resources protection.

Keywords: surface water quality, water quality class, anthropogenic factor, economic situation, federal district

**УДК Ничипорова И.П., Лямперт Н.А., Лобченко Е.Е.** Экологическое состояние Нижней Волги

Рассмотрены условия формирования химического состава воды Нижней Волги, включающей устьевую часть собственно Волги, в районе г. Волгоград, совпадающей с дельтой, и открытое мелкое устьевое взморье. Установлено: сложившееся напряженное экологическое состояние воды Нижней Волги обусловлено рядом факторов – природными условиями; наличием на прилегающей территории большого количества предприятий, сбрасывающих неочищенные или недостаточно очищенные сточные воды; воздействием вышележащих водохранилищ; необходимостью регулирования водного стока Волжско-Камского каскада и попусков воды через Волгоградский гидроузел и др. Показаны основные загрязняющие вещества и динамика качества воды за период 2006-2019 гг. Нижней Волги, включающей участок в районе крупных промышленных центров – г. Волгоград и г. Астрахань, а также качество воды рукавов дельты.

Ключевые слова: загрязняющие вещества, качество воды, экологическое состояние, сточные воды, водохозяйственные проблемы, формирование поверхностных вод

**UDC 556.535.8504.45.064.2 Nichiporova I.P., Lyampert N.A., Lobchenko Ye.Ye.** Ecological state of the Lower Volga

The conditions for the formation of the chemical composition of the Lower Volga water, including the estuarine part of the Volga proper, in the region of the city of Volgograd, coinciding with the delta, and open shallow estuary are considered. It has been established: the prevailing environmental stress state of the Lower Volga water is caused by a number of factors - natural conditions; the presence in the adjacent territory of a large number of enterprises discharging untreated or insufficiently treated wastewater; the impact of overlying reservoirs; the need to regulate the water flow of the Volga-Kama cascade and water releases through the Volgograd waterworks, etc. The main pollutants and the dynamics of water quality for the period 2006-2019 are shown. Lower Volga, which includes a site in the area of large industrial centers - Volgograd and Astrakhan, as well as the water quality of the delta branches.

Keywords: pollutants, water quality, environmental status, wastewater, water management problems, surface water formation

**УДК 556.531.4 + 556.535.8 Реутова Т.В., Дреева Ф.Р., Реутова Н.В., Хутуев А.М.** Распределение концентраций примесей в речных бассейнах центральной части Северного Кавказа

Изучено содержание главных ионов ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) и некоторых микропримесей (F, Li, Sr, Al, Cu, Mn, Zn) в водах малых рек, расположенных в бассейнах основных рек региона, центром которого являлась г. Эльбрус (от р.Черек на востоке до верхнего течения Кубани и реки Теберда на западе). Проведено сопоставление уровней содержания примесей смежных бассейнов основных водных артерий и выявлены значительные различия в химическом составе вод в

зависимости от высотной зоны отмеченные изменения концентраций примесей от бассейна к бассейну менее выражены.

Ключевые слова: Северный Кавказ, малые горные реки, главные ионы, микропримеси.

**UDC 556.531.4 + 556.535.8 Reutova T.V., Dreeva F.R., Reutova N.V., Khutuev A.M.** Distribution of impurity concentrations in river basins of the central part of the North Caucasus

The content of major ions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) and some trace elements (F, Li, Sr, Al, Cu, Mn, Zn) in the waters of minor rivers located in the basins of the main rivers of the region centered on mount Elbrus (from the Cherek river in the East to the upper reaches of the Kuban and the Teberda river in the West) was studied. A comparison of levels of impurities in river waters from adjacent basins of main waterways was made, and major differences in chemical composition of waters, depending on height zones, were evaluated, the observed changes in the concentrations of impurities from basin to basin were less pronounced.

Keywords: Northern Caucasus, minor mountain rivers, main ions, trace contaminants.

**УДК 504.45 (98) Решетняк О.С., Косменко Л.С., Даниленко А.О., Кондакова М.Ю., Коваленко А.А.** Тенденции изменчивости антропогенной нагрузки на устьевых участках рек Арктической зоны России

Представлены результаты оценки антропогенной нагрузки на замыкающих створах крупных рек Арктической зоны России. Сравнительный анализ данных по максимальным значениям модуля стока растворенных химических веществ за два временных периода – с 1980 по 1999 г. и с 2000 по 2017 г. позволил выделить основные тенденции изменчивости антропогенной нагрузки на устьевых участках рек. В целом уровень антропогенной нагрузки по максимальным значениям модуля стока легкоокисляемых органических веществ, азота аммонийного и нефтепродуктов значительно варьирует от «малой» до «очень высокой». Для большинства изученных рек арктической зоны России во временном аспекте выявлена тенденция снижения уровня антропогенной нагрузки по модулям стока химических веществ.

Ключевые слова: Антропогенная нагрузка, химический сток, модуль стока, речные экосистемы, Арктическая зона.

**UDC 504.45 (98) Reshetnyak O.S., Kosmenko L.S., Danilenko A.O., Kondakova M.Yu., Kovalenko A.A.** Trends in the variability of anthropogenic load on the estuaries of rivers in the Arctic zone of Russia

The results of the anthropogenic load assessment on the closing sections of large rivers of the Russia Arctic zone are presented. A comparative data analysis on the maximum values of the runoff modulus of dissolved chemicals for two time periods - from 1980 to 1999 and from 2000 to 2017 made it possible to identify the main trends in the anthropogenic load variability on the river mouths. In general, the anthropogenic load level by the maximum values of the runoff modulus of easily oxidized organic substances, ammonium nitrogen and oil products varies significantly from “low” to “very high”. For the majority of the studied rivers of the Russia Arctic zone, a tendency has been revealed in the temporal aspect to reduce the level of anthropogenic load by the flow modules of chemicals.

Keywords: Anthropogenic load, chemical runoff, runoff modulus, river ecosystems, Arctic zone.

**УДК 551.464 Рогожин В.С., Полухин А.А.** Влияние стока реки Лена на гидрохимическую структуру вод моря Лаптевых в летний сезон

В статье рассматриваются результаты исследования влияния стока реки Лена на гидрохимическую структуру моря Лаптевых в летний период. Проанализировано пространственное распределение и количественные значения распределения растворенных соединений кремния, под влиянием речного стока, а также межгодовая изменчивость стока реки Лена. Проведена оценка дальности и глубины поступления речных вод в море на основании распределения кремния.

Ключевые слова: море Лаптевых, гидрохимические параметры, влияние речного стока.

**UDC 551.464 Rogozhin V.S., Polukhin A.A.** The influence of the Lena river runoff on the hydrochemical structure of the waters of the Laptev sea in the summer season

The article discusses the results of a study of the influence of the Lena river flow on the hydrochemical structure of the Laptev Sea in summer. The spatial distribution and quantitative values of the distribution of dissolved silicon compounds are analyzed under the influence of river runoff, as well as the interannual variability of the Lena river runoff. The estimation-range and depth Incoming river water into the sea on the basis of silicon distribution.

Keywords: Laptev Sea, hydrochemical parameters, the influence of river flow.

**УДК (556.53+502.7):332(985) Ромашова К.В., Брызгалов В.А., Третьяков М.В.** Пресноводные экосистемы Западного Шпицбергена в современных условиях антропогенного воздействия

Для получения информации, адекватно отражающей современное состояние пресноводных экосистем Западного Шпицбергена, проведены комплексные экспедиционные наблюдения за пространственно-временной изменчивостью гидролого-гидрохимического режима рек и озер архипелага. В результате экспедиционных работ ААНИИ с 2001 г. по 2018 г. накоплен значительный материал по основным характеристикам гидрологического и гидрохимического режима рек и озер. Освещены результаты обобщения и оценки современного состояния речных и озерных экосистем по комплексу гидрохимических показателей в том числе и приоритетных загрязняющих веществ.

Ключевые слова: Речные экосистемы, загрязненность, качество поверхностных вод

**UDC (556.53+502.7):332(985) Romashova K.V., Bryzgalov V.A., Tretyakov M.V.** Freshwater ecosystems of Western Spitzbergen under modern conditions of anthropogenic impact

Comprehensive expeditionary observations of the spatial and temporal variability of the hydrological and hydrochemical regime of rivers and lakes of the archipelago were carried out to assess the current state of the freshwater ecosystems of Western Spitsbergen. As a result of the AARI expeditionary work from 2001 to 2018, significant material has been accumulated on the main characteristics of the hydrological and hydrochemical regime of rivers and lakes. The results of generalization and assessment of the current state of river and lake ecosystems by a set of hydrochemical indicators, including priority pollutants, are presented.

Keywords: Arctic rivers, ecosystem, hydrochemical indicators, Svalbard

**УДК 577.115.3+577.359 Руднева И.И., Залевская И.Н., Шайда В.Г., Меметлаева Г.Н., Щерба А.В.** Сезонная миграция азота и фосфора в гиперсоленом озере Галгасс (Крым)

Представлена информация о сезонной динамике содержания нитратов, нитритов и фосфатов в воде гиперсоленого крымского озера Галгасс. Максимальное содержание нитратов установлено в весенне-летний период, нитриты в основном обнаружены в зимне-весенний период, фосфаты – в июне. Полученные результаты отражают вклад природных и антропогенных факторов в миграцию биогенов в соленых водоемах.

Ключевые слова: гиперсоленое озеро, Крым, сезонные изменения, нитраты, нитриты, фосфаты, загрязнение

**UDC 577.115.3+577.359 Rudneva I.I., Zalevskaya I.N., Shaida V.G., Memetlaeva G.N., Shcherba A.V.** Seasonal migration of nitrogen and phosphorus in the hypersaline Lake Galgass (Crimea)

The information of the seasonal dynamics of nitrates, nitrites and phosphates content in the water of hypersaline lake Galgass is present. The highest concentration of nitrates was observed in the spring-summer period, nitrites were detected in winter-spring season and phosphates were identified in June. Obtained results reflect the supply of natural and anthropogenic factors in the biogens migration in hypersaline water bodies.

Keywords: hypersaline lake, Crimea, seasonal changes, nitrates, nitrites, phosphates, pollution

**УДК 556.535.8 Словягина А.Н., Полянин В.О., Фашчевская Т.Б.** Пространственно-временная динамика качества воды городского водотока (на примере р. Лихоборка)

Выполнена оценка влияния хозяйственной деятельности на различных участках городской территории на качество воды р. Лихоборки, протекающей в условиях плотной застройки и являющейся частью дренажно-ливневой канализации г. Москвы. Река большей частью заключена в подземный коллектор и испытывает сильнейший экологический стресс. Установлено, что содержание в речной воде нефтепродуктов, азота аммонийного, хлоридов, взвешенных и органических веществ превышает предельно допустимые или фоновые концентрации, что обусловлено поступлением загрязнителей в реку с поверхностным стоком и незаконными выпусками сточных вод.

Ключевые слова: Диффузное загрязнение, городской водоток, антропогенное воздействие, качество воды;

**UDC 556.535.8 Slovyagina A.N., Polyinin V.O., Fashchevskaya T.B.** Spatial and temporal dynamics of water quality of urban watercourse (case study: Likhoborka River)

The research focuses on preliminary assessment of water quality impairments caused by urban patterns of development and associated human activities within small highly urbanized watershed of the Likhoborka River – a part of the Moscow storm drain system. The river is mostly enclosed underground and is under great ecological stress. Poor water quality is mainly due to high levels of oil, organic matter, suspended solids, ammonium and chlorides that are washed out with surface runoff and come from illicit discharges.

Keywords: Diffuse pollution, urban watercourse, anthropogenic impact, water quality

**УДК 574.21; 504.054; 550.47 Сомов В.В., Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю., Кукушкин С.Ю.**

**Влияние горнорудного производства на миграцию металлов в аквальных системах степных ландшафтов**

Работа посвящена исследованию изменения особенностей миграции рудных и аксессуарных элементов в аквальной составляющей степных ландшафтов Южного Урала под влиянием разработки медноколчеданного месторождения. Изучены содержания элементов в воде и депонирующих средах (донные осадки, побеги тростника, мышцы представителей ихтиофауны), а также показатели дифференциации элементов в системах «почва супераквальных фаций – донные осадки», «донные осадки – макрофиты», «вода – рыба».

Ключевые слова: тяжелые металлы, миграция, Южный Урал, горнорудное производство, водные объекты.

**UDC 574.21; 504.054; 550.47 Somov V.V., Opekunova M.G., Opekinov A.Yu., Kukushkin S.Yu.**

**Mining industry impact on migration of metals in aquatic systems of steppe landscapes**

This study aims to estimate changing of ore and accessory trace elements migration in aquatic part of steppe landscapes (the Southern Urals, Russia) under influence of chalcopyrite ore deposit mining. Assessment included analysis of trace elements content in water, bottom sediments, reed shoots, fish muscles and values of coefficients reflecting elements migration in systems «coastal soil – bottom sediments», «bottom sediments – macrophytes», «water – fish».

Keywords: trace elements, heavy metals, migration, Southern Urals, mining industry, water bodies

**УДК 556.5 Фащевская Т.Б., Мотовилов Ю.Г. Моделирование загрязнения марганцем**

**водотоков в бассейне Нижнекамского водохранилища**

Установлены пространственно-временные закономерности содержания марганца в речной сети на водосборе Нижнекамского водохранилища с использованием программного комплекса ECOMAG-НМ. Построена карта среднесуточных концентраций марганца в модельной речной сети, в том числе на участках, не охваченных гидрохимическими наблюдениями. Выполнена оценка вклада точечных и диффузных источников в загрязнение речных вод марганцем. Доля марганца, поступающего в речную сеть со сбросами сточных вод, невелика и составляет ~0,1 % суммарного стока металла в водохранилище.

Ключевые слова: речной бассейн, модель ECOMAG-НМ, диффузное загрязнение, точечные источники, тяжелые металлы марганец.

**UDC 556.5 Fashchevskaya T.B., Motovilov Yu.G. Modeling manganese pollution of watercourses**

**on the Nizhnekamskoe reservoir watershed**

The spatial-temporal patterns of manganese content in the river network on the Nizhnekamskoe Reservoir watershed using the ECOMAG-НМ software package have been established. A map of long-term average concentration of manganese in a model river network was constructed, including in areas not covered by hydrochemical observations. The contribution of point and diffuse sources to manganese pollution of river waters is estimated. The proportion of manganese entering the river network with wastewater discharges is small and amounts to ~ 0.1 % of the total metal flow into the reservoir.

Keywords: river basin, ECOMAG-НМ model, diffuse pollution, point sources, heavy metals, manganese.

**УДК 550.4.546.02 Федоров Ю.А. О механизме формирования  $\delta^{34}\text{S}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  сульфатных ионов**

**подземных и поверхностных вод до и после санации угольных шахт**

Шахтные воды практически полностью формируют сток сульфатов малых рек Шахтинско-Несветаевского района Восточного Донбасса. Установлены вариации  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^{34}\text{S}$  сульфатов шахтных, «фоновых» подземных вод, прудов и малых рек района добычи и переработки угля. Изотопный состав сульфатных ионов шахтных вод формируется в результате бактериального и химического окисления пирита угольных пластов, смешения этих флюидов с поровыми растворами и подземными водами. Сульфаты образовавшихся шахтных вод затем подвергаются в подземной и поверхностной обстановке сульфатной редукции. После санации большей части угольных шахт, фактически прекращения водоотлива и очистки шахтных вод в прудах отстойниках и аэраторах возросла доля сульфатов «фоновых» пластовых вод. Это свидетельствует о том, что в результате заполнения пластовыми водами горных выработок и отсутствия водоотлива создаётся анаэробная насыщенная водой среда. Разработанная блок-диаграмма, позволяет не только использовать значения  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^{34}\text{S}$  в

качестве изотопных меток источника происхождения сульфатных ионов, но и проследить особенности механизма их эволюции. Сделан расчет доли инкорпорируемого в сульфаты молекулярного кислорода и кислорода воды.

Ключевые слова: шахтные, поверхностные, воды, сульфаты, изотопный состав серы, кислорода, железо.

**UDC 550.4.546.02 Fedorov Yu.A.** On the mechanism of formation of  $\delta^{34}\text{S}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  of sulphate ions of underground and surface waters before and after sanitation of coal mine

Mine water almost completely forms the sulfate runoff of small rivers in the Shakhtinsko-Nesvetaevsky district of East Donbass. Variations of  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{34}\text{S}$  sulfates of mine, "background" groundwater, ponds and small rivers of the coal mining and processing area are established. The isotopic composition of sulfate ions in mine water is formed as a result of bacterial and chemical oxidation of pyrite in coal layers, mixing of these fluids with pore solutions and groundwater. The sulfates of the resulting mine water are then subjected to sulfate reduction in the underground and surface conditions. After the rehabilitation of most of the coal mines, in fact, the cessation of drainage and treatment of mine water in the ponds of settling tanks and aerators, the proportion of sulfates from the "background" formation waters increased. This indicates that anaerobic water-saturated environment is created as a result of reservoir water filling of mine workings and the absence of drainage. The developed block diagram makes it possible not only to use the  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{34}\text{S}$  values as isotopic labels of the source of sulfate ion origin, but also to trace the features of the mechanism of their evolution. The fraction of molecular oxygen and water oxygen incorporated into sulfates is calculated.

Keywords: mine, surface, water, iron, sulfates, isotopic composition of sulfur, oxygen

**УДК 504.5:353.2(470+571)"20" Черногаева Г.М., Журавлева Л.Р., Малеванов Ю.А.** Водные ресурсы Московского региона в XXI веке

Московский регион (г. Москва и Московская обл.) является примером негативного влияния урбанизации на качество окружающей среды, включая здоровье населения и благоприятное существование наземных и водных экосистем. В настоящее время население, постоянно проживающее в регионе, составляет около 20 млн. человек. В Московском регионе городское население постоянно растет, происходит строительство нового жилья, расширение дорожно-транспортной сети, что сопровождается сокращением лесопокрытых территорий и земель сельскохозяйственного назначения, и в связи с этим наблюдается рост негативной антропогенной нагрузки. Для обеспечения водой г. Москвы и частично области, был создан крупнейший в стране гидротехнический комплекс, состоящий из 15 водохранилищ и 2 крупных каналов, соединяющих Волжский и Москворецкий источники водоснабжения. В работе, на основании многолетних данных мониторинга Росгидромета и данных Росстата, рассматриваются тенденции изменения количества располагаемых водных ресурсов, объемов забора свежей воды для всех видов использования и сброса в водные объекты сточных вод разной степени очистки. Основными источниками загрязнения крупных водотоков региона остаются недостаточно очищенные хозяйственно-бытовые и промышленные сточные воды городов: Одинцово, Клин, Серпухов, Кашира, Коломна, Москва, Воскресенск, Подольск, Наро-Фоминск, Щелково, Ногинск, Орехово-Зуево и др., а также сельскохозяйственные стоки, поступающие непосредственно в реки или их притоки. Отмечается проблема отсутствия тенденции адекватного, связанного с проведением водоохраных мероприятий улучшения качества воды в регионе.

Ключевые слова: Московский регион, водные ресурсы и их качество, речные бассейны, водоснабжение Московского региона

**UDC 504.5:353.2(470+571)"20" Chernogaeva G.M., Zhuravleva L.R., Malevanov Yu.A.** Water resources of the Moscow region in the XXI century

Moscow region (Moscow city and Moscow oblast) shows an example of negative effect of urbanization on the quality of environment, including public health and favorable conditions for terrestrial and aqueous ecosystems. Currently, around 20 million people permanently reside within the region. The number of urban citizens in Moscow region grows constantly, new residential buildings are constructed, road and transport infrastructure is extended on the account of wooded lands and agricultural lands, and negative anthropogenic impact increases. To supply water to Moscow city and partly to the oblast, the largest hydroscheme in the country was created. It consists of 15 water storage tanks and 2 large channels uniting water supply sources from the Volga river and the Moskva river. The work based on long-term data of the Federal Service of Russia on Hydrometeorology and Monitoring of the Environment considers the trends towards the change of the number of available water resources, fresh water withdrawal volumes for all types

of use and discharge of wastewater with different treatment levels to the water bodies. The main pollution sources for regional first order streams still rest with insufficiently treated domestic sewages and industrial sewages of the following cities and towns: Odintsovo, Klin, Serpukhov, Kashira, Kolomna, Moscow, Voskresensk, Podolsk, Naro-Fominsk, Shchelkovo, Noginsk, Orekhovo-Zuevo etc., as well as agricultural sewage discharged directly into rivers and affluents. Another issue is absence of a systematic adequate water quality improvement program in the region related to water-protective measures.

Keywords: Moscow region, water resources and their quality, river basins, water supply in the Moscow region

**УДК 504.455 Шашуловская Е.А., Мосияш С.А., Филимонова И.Г., Гришина Л.В.** Особенности гидрохимического режима Ириклинского водохранилища (на р. Урал) в различные по водности годы

Рассмотрены особенности формирования основных компонентов гидрохимического режима (растворенного кислорода, рН, макроионов, органического вещества и биогенных элементов) в Ириклинском водохранилище – самом крупном искусственном водоеме на р. Урал в различные по водности годы за последнее десятилетие: многоводные 2013 и 2014 гг., различающиеся внутригодовым распределением притока, и 2019 г., характеризующийся минимальным объемом водного притока. Содержание основных ионов в маловодный год возрастает в связи с повышением доли грунтовых вод в водном балансе. Весенний паводок или обильные летние дождевые осадки способствуют привносу в водохранилище с водосборной территории значительного количества аллохтонного органического вещества, а также минерального азота, в первую очередь его аммонийных соединений. Содержание общего органического вещества, фосфатов и кремния в большей степени определяется уровнем внутриводоемных биопродукционных процессов.

Ключевые слова: Ириклинское водохранилище, водный приток, макроионы, органическое вещество, биогенные элементы.

**UDC 504.455 Shashulovskaya E.A., Mosiyash S.A., Filimonova I.G., Grishina L.V.** Features of the hydrochemical regime of the Iriklin sky reservoir (on the Ural river) in different years of water availability

The features of the formation of the main components of the hydrochemical regime (dissolved oxygen, pH, macroions, organic matter and nutrients) in the Iriklin sky reservoir - the largest artificial reservoir on the river Urals in different water years for the last decade are considered. For the study, we selected high-water years 2013 and 2014, differing in the intra-annual distribution of inflow, and 2019, characterized by a minimum volume of water inflow. The content of basic ions in a low-water year increases due to an increase in the proportion of groundwater in the water balance. Spring floods or heavy summer rainfall contribute to the introduction of a significant amount of allochthonous organic matter, as well as mineral nitrogen, primarily ammonium compounds, into the reservoir from the catchment area. The content of total organic matter, phosphates and silicon is largely determined by the level of intra-water bioproduction processes.

Keywords: Iriklin sky reservoir, water inflow, macroions, organic matter, nutrients.

**УДК 556.535.8 Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М.** Динамика содержания аммонийного азота в воде Среднего Амура в зимнюю межень в 2015-2020 годах

Рассмотрена динамика содержания аммонийного азота в зимнюю межень 2015–2020 гг. в воде среднего Амура. Установлено снижение в 2,1 раза по сравнению с 2010–2014 гг. среднегодовой концентрации иона аммония в воде р. Амур у г. Хабаровск. Показано неравномерное распределение содержания аммонийного азота по ширине Амура с максимальным значением в средней части из-за влияния р. Сунгари.

Ключевые слова: река Амур, аммонийный азот, содержание

**UDC 556.535.8 Shesterkin V.P., Shesterkina N.M.** Dynamics of the ammonium nitrogen content in the middle Amur during the winter low-water in 2015-2020

The dynamics of the ammonium nitrogen content in the middle Amur during winter-low water in 2015–2020 is considered. A decrease of 2.1 times in the average annual concentration of ammonium ion in the Amur River near Khabarovsk compared with 2010–2014 was established. The uneven distribution of ammonium nitrogen content over the Amur width with a maximum value in the middle part due to the influence of the Sungari River is shown.

Keywords: Amur river, ammonium nitrogen, content



**УДК 556.114.6 Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М.** Гидрохимия малых рек города Хабаровск в половодье

Дана характеристика качества вод малых рек Хабаровска в период половодья. Установлено максимальное содержание основных ионов, хлоридно-натриевый состав, загрязнение речных вод хлоридными ионами и ионами натрия в начале половодья, аммонийным и нитритным азотом, фосфатами в течение марта-апреля. Показано наибольшее загрязнение вод аммонийным и нитритным азотом, фосфатами рек северной части города на пике половодья.

Ключевые слова: Хабаровск, малые реки, половодье, загрязнение, аммонийный и нитритный азот, фосфаты

**UDC 556.114.6 Shesterkin V.P., Shesterkina N.M.** Hydrochemistry of small rivers of Khabarovsk during flooding

The characteristic of water quality of small rivers of Khabarovsk during the flooding is given. The maximum content of major ions, sodium chloride composition, pollution of river waters with chloride ions and sodium ions at the beginning of the flood, ammonium and nitrite nitrogen, and phosphates during March-April period were established. The highest pollution of water by ammonium and nitrite nitrogen, phosphates of rivers of the northern part of the city at the peak of high water is shown.

Keywords: Khabarovsk, small rivers, flooding, pollution, ammonium and nitrite nitrogen, phosphates

**УДК 550,4; 556 Шилькрот Г.С., Кудерина Т.М., Лобковская Л.Г.** О роли природных факторов в формировании состава воды горных рек (Северный Кавказ, Республика Кабардино-Балкария)

В мае 2019 г. были выполнены исследования на нескольких реках (Баксан, Терек, Черек, Нальчик и Кенделен), использующихся для водоснабжения, орошения и других целей. Было выявлено большое разнообразие рек по химическому составу воды. Полученные результаты и данные более раннего периода (Шилькрот, 1987; Кудерина и др., 2008 и др.) позволяют показать, что пространственное разнообразие состава речных вод обусловлено главным образом природными факторами. А именно, разными источниками водного и вещественного питания рек в высокогорье и среднегорье. Река Баксан, с её истоком на Эльбрусе, питающаяся талыми водами снежников и ледников, отличается от других водотоков маломинерализованной водой гидрокарбонатно-кальциевого состава. Реки среднегорий (Черек, Кенделен, Нальчик и др.) получают наряду с ливневым стоком с водосборов значительное питание подземными водами, обогащенными химическими элементами из дренируемых ими горных пород (гипсов и др.). Вода этих рек наиболее минерализованная, а в её составе преобладают кальций и сульфаты. В воде всех рек региона в составе микроэлементов в растворе присутствует более всего Fe, Sr, Mn, Ba, Zn, Pb. Однако питьевые нормативы превышены только по Fe и Mn и не для всех рек.

Ключевые слова: горные реки, состав воды, минерализация, микроэлементы, водное и вещественное питание рек, горные породы, подземные воды

**UDC 550,4; 556 Shilkrot G.S., Kuderina T.M., Lobkovskaya L.G.** On the role of natural factors in the formation of the water composition of mountain rivers (North Caucasus, Republic of Kabardino-Balkaria)

In May 2019, studies were carried on several rivers (Baksan, Terek, Cherek, Nalchik and Kendelen), whose water is used for water supply, irrigation and other purposes. A wide variety of chemical composition of river waters were found. The results obtained and data from an earlier period (Shilkrot, 1987; Kuderina et al., 2008) allow us to show that the spatial diversity of chemical characteristic of river waters is mainly due to natural factors. Namely, different sources of water and material nutrition of rivers in the highlands, middle mountains. The Baksan river with its source on Elbrus is fed by melt water from snowfields and glaciers and its waters are low-mineralized, of a bicarbonate-calcium composition. The rivers of the middle mountains (Cherek, Nalchik, Kendelen, etc) are fed with storm water runoff and from underground waters enriched with chemical elements from rocks (gypsum, etc) drained by them. The water of these rivers is more mineralized, its composition is dominated by Ca and SO<sub>4</sub>. Of the trace elements in all the rivers of the region, Fe, Sr, Mn, Ba, Zn, Pb are predominated. However, drinking standards are exceeded only for Fe, Mn and not for all rivers.

Keywords: the mountain rivers, chemical composition of water, mineralization, trace elements, water and material nutrition of rivers, rocks, underground waters

**УДК 628.394 Шишкин А.И., Куватов И.А.** Имитационная модель бассейна реки Вахш (республика Таджикистан) для обоснования компенсационных мероприятий по обеспечению заданного качества поверхностных вод

Разработан алгоритм комплексного обоснования технологических компенсационных мероприятий для достижения, требуемого качества поверхностных вод по целевым показателям на отдельных водохозяйственных участках. Определены зоны загрязнения и зоны влияния основных видов промышленных и сельскохозяйственных производств. Раскрыта структура методики применения комплексного факторно-кластерно-таксономического метода (КФКТ) на основе сформированной базы гидролого-гидрохимических данных бассейна р. Вахш. Приведено картографирование бассейна р. Вахш в виде диаграмм обобщенных и репрезентативных показателей-факторов по водохозяйственным участкам.

Ключевые слова: имитационная модель, компенсационные мероприятия, водохозяйственный участок, зона загрязнения, районирование, кластерный и таксономический методы, репрезентативные показатели, определяющие факторы

**UDC 628.394 Shishkin A., Kuvatov I.** Simulations of the Vakhsh river basin (republic of Tajikistan) to justify compensatory measures to ensure the specified surface water quality

An algorithm for complex justification of technological compensation measures to achieve the required quality of surface water according to the target indicators in certain water management areas has been developed. Pollution zones and zones of influence of the main types of industrial and agricultural production are defined. The structure of the method of application of the complex factor-cluster-taxonomic method (CFCT) based on the formed database of hydrological and hydrochemical data of the Vakhsh river basin is disclosed. Mapping of the Vakhsh river basin is presented in the form of diagrams of generalized and representative indicators-factors for water management sites.

Keywords: simulation model, compensation measures, water-resources region, contamination zone, regionalization, cluster and taxonomic methods, representative indicators, determining factors

## **2. Экологические проблемы поверхностных водных объектов, экологическое нормирование состояния водных экосистем.**

**УДК 502.51 Атабиева Ф.А.** Проблемы экологического нормирования поверхностных вод бассейна р. Терек

Во всем мире наибольшую опасность водам суши несет загрязнение воды соединениями тяжелых металлов, так как они не подвергаются биодegradации и обладают способностью аккумулироваться в различных компонентах экосистемы. Тема исследования связана с проведением мониторинга по изучению степени загрязненности воды основных рек бассейна р.Терек растворенными формами соединений таких тяжелых металлов как Cr, Ni, Mo, Pb, Zn, Mn. в предгорной и устьевой зоне. Определение уровня содержания растворенных форм соединений тяжелых металлов (Cr, Ni, Mo, Pb, Zn, Mn) проводилось атомно-абсорбционным методом с использованием спектрометра с электротермической атомизацией «МГА-915М». Частота случаев превышения предельно допустимых концентраций соединений тяжелых металлов иллюстрированы графиками. Загрязненность исследуемых рек соединениями тяжелых металлов связана с особенностями литологического строения водосборных бассейнов, т. е. имеет природный характер. В таких случаях предполагается введение бассейновых допустимых концентраций (БДК).

Ключевые слова: бассейн реки Терек; соединения тяжелых металлов; загрязнение; предгорная зона; устьевая зона

**UDC 502.51 Atabieva F.A.** Problems of environmental regulation of surface waters of the Terek river basin

All over the world, the greatest danger to land waters is caused by water pollution with heavy metal compounds, since they do not undergo biodegradation and have the ability to accumulate in various components of the ecosystem. The research topic is related to monitoring the degree of water contamination of the main rivers of the Terek river basin with dissolved forms of heavy metal compounds such as Cr, Ni, Mo, Pb, Zn, Mn. in the foothill and estuarine zones. Determination of the level of dissolved forms of heavy metal compounds (Cr, Ni, Mo, Pb, Zn, Mn) was performed by atomic absorption method using an electrothermal atomization spectrometer "MGA-915M". The frequency of cases of exceeding the maximum permissible concentrations of heavy metal compounds is illustrated by graphs. The contamination of the studied rivers with heavy metal compounds is related to the peculiarities of the lithological structure of the

catchment basins, i.e. it has a natural character. In such cases, it is assumed to introduce basin acceptable concentrations (BDC).

Keywords: The basin of the Terek river; compounds of heavy metals; pollution; foothills; river mouth area

**УДК 556.535.4 Будник С.В.** Изменение температуры воды по длине реки Горынь в связи с последствиями изменений климата

В работе рассматриваются вопросы изменения температуры воды в реке Горынь по ее длине и во времени. Установлено, что современные изменения климата вызывают более заметные изменения средней и максимальной температуры воды в реке, по сравнению их изменения по длине реки.

Ключевые слова: температура воды, климат, длина реки, изменение во времени.

**UDC 556.535.4 Budnik S.V.** Change of temperature of water of the river Goryn on length in connection with consequences of changes of a climate

In work questions of change of temperature of water in the river Goryn on its length and in time are considered. It is established, that modern changes of a climate cause more appreciable changes of average and maximal temperature of water in the river, in comparison of their change on length of the river.

Keywords: temperature of water, a climate, length of the river, change in time.

**УДК 556.18:639.3(470.61) Жукова С.В., Подмарева Т.И., Бурлачко Д.С., Фоменко И.Ф., Карманов В.Г., Безрукавая Е.А., Лутынская Л.А.** Гидролого-экологические аспекты типизации водных объектов Ростовской области для целей товарной аквакультуры

С целью проведения типизации и разработки методов оценки продуктивности водных объектов рыбохозяйственного значения для развития товарной аквакультуры в 2018-2019 гг. проведены комплексные сезонные (весна, лето, осень) исследования 50 водоемов (озера, водохранилища, пруды) южной, восточной и центральной частей Ростовской области. В гидрологическом отношении водоемы являются слабоизученными и неизученными водными объектами. В качестве основных гидролого-экологических критериев были выбраны: морфометрические признаки (площадь водоема, глубина и т.д.); тип питания; заиление; зарастаемость водоема; изменения уровня воды; прозрачность и цвет воды; температура воды; оценка состояния ГТС; оценка инфраструктуры (местоположение водоемов), рекреационное использование и др. Проведены классификационных исследований водных объектов. Даны рекомендации по использованию водоемов для целей аквакультуры, а также обсуждаются проблемы загрязнения прибрежных территорий и необходимости возвращения русел балок и рек в естественное состояние.

Ключевые слова: водоемы, критерии, типизация, гидрологические параметры, балльная шкала, гидротехнические сооружения, загрязнение, естественное русло.

**UDC 556.18:639.3(470.61) Zhukova S.V., Podmareva T.I., Burlachko D.S., Fomenko I.F., Karmanov V.G., Bezrukavaya E.A., Lutynskaya L.A.** Hydrological and ecological aspects of typification of water bodies of the Rostov region for the purposes of commercial aquaculture

In order to typify and develop methods for assessing the productivity of water bodies of fisheries significance for the development of commercial aquaculture in 2018-2019, complex seasonal (spring, summer, autumn) studies of 50 reservoirs (lakes, reservoirs, ponds) in the southern, Eastern and Central parts of the Rostov region were conducted. In terms of hydrology, reservoirs are poorly studied and unexplored water bodies. The main hydrological and ecological criteria were selected: morphometric features (reservoir area, depth, etc.); type of nutrition; siltation; overgrowth of the reservoir; changes in water level; water transparency and color; water temperature; assessment of the state of the GTS; assessment of infrastructure (location of reservoirs), recreational use, etc. Classification studies of water bodies were carried out. Recommendations on the use of reservoirs for aquaculture are given, as well as the problems of pollution of coastal territories and the need to return the channels of gullies and rivers to their natural state are discussed.

Keywords: reservoirs, criteria, typification, hydrological parameters, point scale, hydraulic structures, pollution, natural channel.

**УДК 504.45 Комаров Р.С.** Природный фактор как возможная причина экстремально высоких концентраций ионов меди в воде притоков реки Кубань

В работе приводятся данные о кратности превышения ПДК меди в притоках реки Кубань. Выяснено, что за весь период (2010-2018 гг.) содержание меди в воде в большинстве случаев превышало предельно допустимые концентрации. Данные о содержании компонента были сопоставлены с расходами взвешенных и влекомых наносов в реках. Обнаружено, что экстремально

высокие концентрации меди могут быть связаны с периодичным увеличением взвешенных и влекомых наносов в воде рек, увеличение которых, в свою очередь, может происходить из-за природных явлений.

Ключевые слова: медь, река Кубань, взвешенные и влекомые наносы

**UDC 504.45 Komarov R.S.** Natural factor as a possible cause of extremely high concentrations of copper ions in the water of tributaries of the Kuban river

The paper presents data on the multiplicity of exceeding the maximum permissible concentrations of copper in the tributaries of the Kuban river. It was found that for the entire period (2010-2018), the copper content in water in most cases exceeded the maximum permissible concentrations. Data on the content of the component were compared with the expenditure of suspended and entrained sediment in rivers. It was found that extremely high concentrations of copper can be associated with a periodic increase in suspended and entrained sediments in the water of rivers, an increase in which, in turn, may occur due to natural phenomena.

Keywords: copper, Kuban river, suspended and entrained sediments

**УДК 504.45:504.064 Кузьмич В.Н., Пономарева Л.С.** О природоохранных нормативах, разработанных для химических показателей состояния поверхностных водных объектов

На основе актуализации перечня нормативов предельно допустимых концентраций веществ и общих показателей состава и свойств воды водных объектов рыбохозяйственного значения разработан проект природоохранных нормативов для химических показателей состояния поверхностных водных объектов. Перечень приведен в соответствии с требованиями современного природоохранного законодательства, положениями директив Европейского союза. Нормативы разработаны для оценки состояния поверхностных водных объектов в целях сохранения естественных водных экосистем, рационального использования водных биологических ресурсов, водных ресурсов, применения в системе мер государственного регулирования воздействий на водные объекты и экологического мониторинга, рекомендованы к принятию.

Ключевые слова: качество вод, химические показатели, рыбохозяйственные нормативы, актуализация, природный фон, требования законодательства, природоохранные нормативы, сохранение экосистем, применение, предложения

**UDC 504.45:504.064 Kuzmich V.N., Ponomaryova L.S.** On environmental regulations developed for chemical indicators of surface water object

On the basis of updating the list of standards of the maximum allowable concentrations of substances and the overall indicators of the composition and properties of water objects of fisheries value, the draft environmental regulations for chemical indicators of the condition of surface water objects have been worked out. The list is presented in accordance with the requirements of modern environmental legislation, the provisions of the European Union directives.

Keywords: water quality, chemical indicators, fisheries regulations, actualization, natural background, legal requirements, environmental regulations, ecosystem conservation, application, suggestions

**УДК 502.51 Отарова А.С.** Многолетняя изменчивость уровня содержания соединений молибдена и марганца в реке Малка

В статье представлены результаты многолетней изменчивости (2005-2019гг.) концентраций соединений молибдена и марганца в воде р. Малка. Выявленные уровни содержания соединений тяжелых металлов в воде реки Малка за исследуемый многолетний период, иллюстрированы таблицами и графиками. Определение концентраций соединений тяжелых металлов проводилось методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией на приборе МГА-915

Ключевые слова: река Малка, соединения молибдена, соединения марганца, концентрация, многолетняя изменчивость

**UDC 502.51 Otarova A.S.** Long-term variability of the level of molybdenum and manganese compounds in the Malka river

The article presents the results of long-term variability (2005-2019) of concentrations of molybdenum and manganese compounds in the water of the Malka river. The detected levels of heavy metal compounds in the water of the Malka river for the studied long-term period are illustrated by tables and graphs. The concentration of heavy metal compounds was determined by atomic absorption spectrometry with electrothermal atomization using the MGA-915 device.

Keywords: Malka river, molybdenum compounds, manganese compounds, concentration, long-term

variability

**УДК 504.064, 571.121 Печкин А.С., Агбальян Е.В., Шинкарук Е.В., Красненко А.С.** Оценка качества донных отложений озер в окрестности с. Гыда, Тазовского района Ямало-Ненецкого автономного округа

Актуальность исследования обусловлена необходимостью получения информации об экологическом состоянии водных ресурсов в зоне воздействия нефтегазодобывающей промышленности. Проведен анализ содержаний и уровня загрязнения тяжелыми металлами и As донных отложений водных объектов, расположенных на севере Гыданского полуострова в окрестностях с. Гыда Тазовского района ЯНАО. Содержания тяжелых металлов определяли методом рентгенофлуоресцентного энергодисперсионного анализа. Установлено накопление в донных отложениях Ti, Cr, As, концентрации которых не превышают ПДК. В соответствии с суммарным показателем загрязнения водные объекты характеризуются слабым и средним уровнем загрязнения.

Ключевые слова: Гыда, Арктика, ЯНАО, донные отложения.

**UDC 504.064, 571.121 Pechkin A.S., Agbalyan E.V., Shinkaruk E.V., Krasnenko A.S.** Assessment of quality of bottom sediments of the lake in the neighborhood of s. Gyda, Tazovsky district of the Yamal-Yenets autonomous district

The relevance of the study is due to the need to obtain information about the environmental status of water resources in the impact zone of the oil and gas industry. The analysis of the contents and level of pollution with heavy metals and As of bottom sediments of water bodies located in the north of the Gydan Peninsula in the vicinity of the village of Gyda, Tazovsky District, Yamalo-Nenets Autonomous District. The content of heavy metals was determined by X-ray fluorescence energy dispersive analysis. The accumulation in the bottom sediments of Ti, Cr, As, the concentrations of which do not exceed the MPC. In accordance with the total pollution indicator, water bodies are characterized by a weak and medium level of pollution.

Keywords: Gyda, Arctic, Yamal-Nenets Autonomous Okrug, bottom sediments

**УДК 504.064; 504.4.054 Помеляйко И.С.** Анализ качества поверхностных вод курортов региона Кавказских Минеральных Вод

Представлены результаты многолетнего экологического мониторинга малых рек курортного региона Кавказских Минеральных Вод (КМВ). При помощи существующих критериев – ИЗВ, УКИЗВ, оценены степень и характер их загрязнения. Проанализированы причины загрязнения водных объектов соединениями тяжелых металлов, нефтепродуктами, азотсодержащими соединениями. Выявлены основные факторы, оказывающие влияние на загрязнение водных ресурсов региона. Выявлены и проанализированы основные источники поступления поллютантов в поверхностные водотоки. Проанализирована динамика резкого ухудшения качества речной воды. Установлена антропогенная природа большинства загрязнителей.

Ключевые слова: курорты КМВ, реки, загрязнение, превышение ПДК, антропогенная нагрузка

**UDC 504.064; 504.4.054 Pomelyayko I.S.** The analysis of surface water quality in resorts of the Caucasian Mineral Water region

The results of long-term ecological monitoring of small rivers of the resort region of the Caucasian Mineral Waters (CMW) are presented. With the help of the existing criteria, the degree and nature of their pollution were assessed. The reasons for pollution of water bodies with compounds of heavy metals, oil products, nitrogen-containing compounds are analyzed. The main factors influencing the pollution of water resources of the region are revealed. The main sources of pollutant input into surface watercourses have been identified and analyzed. The dynamics of a sharp deterioration in the quality of river water is analyzed. The anthropogenic nature of most pollutants has been established.

Keywords: CMW resorts, rivers, pollution, excess of maximum permissible concentration, anthropogenic load

**УДК 556 Потапова Т.М., Паршина Т.В., Федорова И.В., Шувалова Е.С.** Современное гидрохимическое состояние водоемов урбанизированных территорий на примере Санкт-Петербурга

В результате полевых и лабораторных гидрохимических исследований водоемов Санкт-Петербурга в 2010 г. были выявлены сезонные и пространственные особенности формирования химического состава вод городских прудов и озер города. Было установлено высокое (более 10 санитарно-гигиенических ПДК) загрязнение сероводородом и метаном в подледный период в большинстве исследованных прудов, сохраняющееся даже в условиях открытой воды, а также

сильное зарастание и нитритное загрязнение внутренних озер города. Большое количество городских прудов имели статус эвтрофных и гипертрофных, а также характеризовались неблагоприятными органолептическими свойствами, что делает их непригодными для рекреационного использования. Трофический статус наиболее крупных озер оценивался как мезотрофный. По данным гидролого-гидрохимических наблюдений, рассчитан водно-солевой баланс Суздальских озер, расположенных на севере города. Проведена оценка внешней и внутренней биогенной нагрузки Нижнего Суздальского озера. Годовая внешняя нагрузка, соответствующая аллохтонному поступлению биогенных элементов в озеро, составляет: Робщ = 0,5 г/м<sup>2</sup>, Нобщ = 28,2 г/м<sup>2</sup>, Максимальная удерживающая способность (52–56 %) установлена для минерального фосфора и аммонийного азота, минимальная (до 15 %) – для нитритного азота. Всего за 2019г. депонировалось в озере: минерального фосфора до 107 кг, аммонийного азота - до 4 тонн. В целях улучшения экологического состояния городских водоемов разработаны водоохранные мероприятия, состоящие в проведении расчистки русла канализированной части реки, впадающей в озеро и аэрации городских прудов.

Ключевые слова: водно-солевой баланс, озеро, загрязнение

**UDC 556 Potapova T.M., Parshina T.V., Fedorova I.V., Shuvalova E.S.** Hydrochemical state of reservoirs in urban areas on the example of St. Petersburg

Hydrochemical and hydrochemical studies of the Saint-Petersburg water bodies revealed seasonal and spatial patterns in the formation of water chemistry. High pollution with hydrogen sulfide and methane during the ice period, which persist even in open water, was noted, as well as high levels of phosphorus and nitrites. Many water bodies had the status of eutrophic and hypereutrophic, and were characterized by negative organoleptic properties, which make them unsuitable. The work studies the water-saline balance of the Suzdal lakes located in the northern part of St. Petersburg. The annual external load corresponding to the allochthonous supply of nutrients to the lake: P<sub>total</sub> = 0.5 g m<sup>-2</sup>, N<sub>total</sub> = 28.2 g m<sup>-2</sup>. The maximum retention capacity (52–56 %) was established for mineral phosphorus and ammonium nitrogen, the minimum (up to 15 %) for nitrite nitrogen. Substances were deposited in the lake: P-PO<sub>4</sub> up to 107 kg, N-NO<sub>2</sub> - In order to improve the ecological state of the lakes, it is necessary to carry out measures to clear the channel of the canalized part of the lower stream of the river flowed into the lake and aeration. Key words: water – saline balance, lake, pollution.

Keywords: water-saline balance, lake, pollution

**УДК 504.4.054.:577.152.313.(047.31) Предеина Л.М., Федоров Ю.А., Дмитрик Л.Ю.** К вопросу о взаимосвязи содержания железа с показателями активности щелочной фосфатазы и эстераз сестона в Азовском море

Приведены результаты распределения активности щелочной фосфатазы и эстераз сестона, а также растворенных форм железа, полученные в летний и осенний периоды в Таганрогском заливе и собственно Азовском море. Выявлено, что наличие связи между содержанием железа и активностью ферментов зависит от гидрологических условий (шторм или относительный штиль) и глубине отбора проб воды. Обсуждается возможное влияние на наличие и различную направленность взаимосвязи содержания железа с показателями активности ферментов других факторов: повышенных концентраций высокотоксичных тяжелых металлов, а также фазности реагирования ферментов на загрязнение.

Ключевые слова: растворенное железо, щелочная фосфатаза, эстеразы, Азовское море

**UDC 504.4.054.:577.152.313.(047.31) Predeina L. M., Fedorov Yu. A., Dmitrik L. Yu.** To the issue of iron content connection with alkaline phosphatase and esterases of seston activity indicators in the Azov Sea

The distribution of activity alkaline phosphatase and esterases of seston, as well dissolved iron, obtained in the summer and autumn periods in the Taganrog Bay and the Azov Sea proper results are presented. It was found that the connections between the dissolved iron content and the enzymes activity depends on the hydrological conditions (storm or relative calm) and the depth of water sampling. The possible influence on the presence and different orientation of the connection between the content dissolved iron content and the enzymes activity of other factors is discussed: increased highly toxic heavy metals concentrations, and the phase response of enzymes to contamination.

Key words: dissolved iron, alkaline phosphatase, esterases, the Azov Sea

**УДК 574.5.:504.054 Решетняк О.С.** Состояние биоты рек степной зоны в зоне влияния техногенных источников (на примере Ростовской области)

Рассмотрена изменчивость количественных и качественных показателей развития планктонных и бентосных сообществ на различных участках малых и средних рек степной зоны Ростовской области. Показано, что на участках водотоков, подверженных влиянию техногенных источников, происходит трансформация состояния биоты. Высокая изменчивость показателей развития фитопланктона и бентоса свидетельствует о неустойчивом состоянии сообществ. Выявлены разнонаправленные тенденции развития фитопланктона и усиление роли синезеленых водорослей, а также преобладание группы олигохет в составе бентоса на участках рек ниже выхода техногенных шахтных вод в речную сеть.

Ключевые слова: фитопланктон, бентос, степная зона, техногенные шахтные воды, бассейн Северского Донца, бассейн Тузлова.

**UDC 574.5.:504.054 Reshetnyak O.S.** State of biota of steppe zone rivers under influence of technogenic sources (Rostov region)

The variability of quantitative and qualitative indicators of the planktonic and benthic communities development in various river sections of the steppe zone of the Rostov region is considered. It is shown that the transformation of the biota state occurs in the river parts to the influence of technogenic sources. The high variability of phytoplankton and benthos development indicates an unstable state of communities. Multidirectional trends in the phytoplankton development and an increase in the role of blue-green algae, as well as the predominance of the oligochaetes in the benthos composition in river sections below the output of technogenic mine water were revealed.

Keywords: phytoplankton, benthos, steppe zone, technogenic mine waters, Seversky Donets Basin, Tuzlov Basin.

**УДК 504.4.054 Сазонов А.Д.** Экологические проблемы и гидрологические особенности рек Сал и Северский Донец (в пределах Ростовской области)

В статье рассмотрены экологические проблемы и гидрологические особенности рек Сал и Северский Донец. Представлена динамика годового и сезонного водного стока (2008-2017 гг.). Для р. Северский Донец характерно возрастание доли стока в зимний и летний периоды, а для р. Сал – в весенний и зимний (в осенний – незначительно). Наибольший объем стока для обеих рек наблюдался в 2010 году. Качество вод обеих рек соответствует 4-му классу качества. Показано, что на экологическое состояние рек Сал и Северский Донец оказывают влияние гидрологические особенности, которые могут изменяться в современных условиях нестационарного климата и интенсивной хозяйственной деятельности. Даны рекомендации в целях улучшения эколого-гидрологического состояния рассматриваемых рек.

Ключевые слова: Нижний Дон, р. Северский Донец, р. Сал, экологические проблемы, водный сток

**UDC 504.4.05 Sazonov A.D.** Environmental problems and hydrological features of the Sal river and Seversky Donets river (within the Rostov region)

The article considers environmental problems and hydrological features of the Sal and Seversky Donets rivers. The dynamics of annual and seasonal water flow (2008-2017) is presented. The Seversky Donets River is characterized by an increase in the proportion of runoff in the winter and summer periods, and for the river. The Sal River is characterized by an increase in the proportion of runoff in the spring and winter (insignificantly in the autumn). The largest flow for both rivers was observed in 2010. The water quality of both rivers corresponds to the 4th quality class. It is shown that the ecological state of the Sal and Seversky Donets rivers is influenced by hydrological features that can change in modern conditions of unsteady climate and intensive economic activity. Recommendations are given in order to improve the ecological and hydrological status of the rivers under consideration.

Keywords: Nizhnij Don, Seversky Donets River, Sal River, environmental problems, water flow

**УДК 504.064 504.45 504.4.054 Седова С.А., Дмитриев В.В.** Интегральная оценка экологического статуса водоема и нормы воздействия на его водную экосистему

Проблема оценки экологического статуса водного объекта и нормы воздействия на него является одной из ключевых фундаментальных проблем современных гидроэкологических исследований, что обусловлено необходимостью получения количественных оценок антропогенного воздействия на водные экосистемы, превышение которых может привести к разрушению отдельных экосистем. Экологический статус определяется авторами как параметрическая оценка состояния водной среды, характеризующая сочетание трофического статуса водоема, качества и токсического загрязнения воды и донных отложений, устойчивости к изменению параметров естественного

(потенциальная устойчивость) и антропогенного режимов. Основной задачей, в рамках исследования, является воспроизведение годового цикла развития водной экосистемы с реализацией выбранного варианта гипотетического воздействия на нее, а именно снижения (ухудшения) параметров качества и токсического загрязнения воды и донных отложений. При этом на основе интегрального подхода необходимо оценить возможность изменения экологического статуса на временном интервале исследования, и сделать выводы о допустимости (недопустимости) воздействия и о влиянии воздействия на водную экосистему. Основной вопрос – перейдет ли система в другой класс после оказанного воздействия по совокупности оцениваемых параметров. В исследовании рассматриваются 3 варианта воздействия на водную экосистему относительно ее начального состояния, вызывающие поэтапное снижение (ухудшение) интегрального показателя качества и токсического загрязнения воды и донных отложений (ИПК) на 10, 30, 50 %.

Ключевые слова: экологический статус, трофический статус, качество воды, донные отложения, устойчивость, норма воздействия, интегральная оценка, сводной показатель, классификация

**UDC 504.064 504.45 504.4.054 Sedova S.A., Dmitriev V.V.** Integral assessment of the ecological status of water object and standards of impacts on the water ecosystem.

The problem of assessing the ecological status of a water body and its impact rate is one of the key fundamental problems of modern hydroecological studies, which is due to the need to obtain quantitative estimates of the anthropogenic impact on aquatic ecosystems, exceeding which can lead to the destruction of individual ecosystems. The ecological status is determined by the authors as a parametric assessment of the state of the aquatic environment, characterizing the combination of the trophic status of the water object, the quality and toxic pollution of water and bottom sediments, resistance to changes in the parameters of the natural (potential sustainability) and anthropogenic conditions. The main task, within the framework of the study, is to reproduce the annual cycle of the development of the aquatic ecosystem with the implementation of the chosen option of a hypothetical impact on it, namely, reducing (worsening) the quality parameters and toxic pollution of water and bottom sediments. At the same time, on the basis of an integrated approach, it is necessary to assess the possibility of changing the ecological status on the time interval of the study, and draw conclusions about the admissibility (inadmissibility) of the impact and the impact of the impact on the aquatic ecosystem. The main question is whether the system will move to another class after the impact on the totality of the estimated parameters. The study considers 3 options for impact on the aquatic ecosystem relative to its initial state, causing a gradual decrease (deterioration) in the integral quality index and toxic pollution of water and bottom sediments by 10, 30, 50 %.

Keywords: ecological status, trophic status, water quality, bottom sediments, stability, impact standards, integrated assessment, summary indicator, classification

**УДК 556.114 Симонян Г.С., Симонян А.Г., Пирумян Г.П.** Анализ экологического состояния рек бассейна Севан с помощью армянского индекса качества воды

В данной статье впервые с помощью Армянского индекса качества воды оценено качество воды рек Дзкнагет, Сотк, Масрик, Варденис, Мартуни, Аргичи и Гаварагет. Установлено, что Армянский индекс качества воды имеет прямолинейную зависимость от индекса загрязненности воды, удельно-комбинаторного индекса качества воды, энтропийного индекса качества воды и обратную зависимость от Канадского индекса качества воды.

Ключевые слова: река, индексы качества воды, Армянский индекс качества воды, Армения

**UDC 556.114 Simonyan G.S., Simonyan A.G., Pirumyan G.P.** Analysis of the ecological state of the Sevan basin rivers using the armenian water quality index

In this article, the quality of water in the rivers Dzhknaget, Sotk, Masrik, Vardenis, Martuni, Argichi and Gavaraget was estimated with the help of the Armenian water quality index. It is established that the Armenian water quality index has a linear dependence on the water pollution index, the specific water quality index, the entropy index of water quality and the inverse dependence on the Canadian water quality index.

Keywords: river, water quality indices, Armenian water quality index, Armenia

**УДК 556.114.7:546.17+546.18+546.28 Смирнов М.П.** Региональные особенности общего и антропогенного стока биогенных элементов и органических веществ рек России

В статье на основе традиционных методов дана количественная оценка среднемноголетнего общего и антропогенного стока биогенных элементов и органических веществ реками России. Рассмотрены фациальные особенности и пространственно-временные тенденции гидрохимического



стока в бассейнах пяти Арктических, трех Тихоокеанских, трех Атлантических, бессточного Каспийского морей за семь пятилетних периодов 1981-2015 гг. Впервые выявлены и проанализированы основные региональные особенности природного и техногенного массопереноса, положительные и отрицательные аномалии, структура, многолетние тенденции изменения стока ингредиентов. Вследствие близости природно-экономических условий основные особенности материкового стока в Арктическом, Тихоокеанском и Атлантическом, Каспийском бассейнах довольно сходны. Установлены в Арктическом и Тихоокеанском бассейнах многократное превышение восстановленных форм азота над окисленными, большой перевес стока общего железа против нитратного азота, высокий вынос легкоокисляемых органических веществ. Эти показатели в Атлантическом и Каспийском бассейнах обратны.

Ключевые слова: сток, биогенные элементы, органические вещества, антропогенная (техногенная) составляющая, тенденции изменения выноса, река, море.

**UDC 556.114.7:546.17+546.18+546.28 Smirnov M.P.** Regional features of general and anthropogenic runoff of biogenic elements and organic substances in Russian rivers

The article uses traditional methods to quantify the average annual total and anthropogenic runoff of biogenic elements and organic substances by Russian rivers. Facies features and spatio-temporal trends of hydrochemical runoff in the basins of five Arctic, three Pacific, three Atlantic, and the drainless Caspian seas over seven five-year periods from 1981 to 2015 are considered. For the first time, the main regional features of natural and man-made mass transfer, positive and negative anomalies, structure, and long-term trends in the flow of ingredients were identified and analyzed. Due to the proximity of natural and economic conditions, the main features of continental runoff in the Arctic, Pacific, Atlantic, and Caspian basins are quite similar. In the Arctic and Pacific basins, there is a multiple excess of reduced nitrogen forms over oxidized ones, a large preponderance of total iron runoff against nitrate nitrogen, and a high removal of easily oxidized organic substances. These indicators are reversed in the Atlantic and Caspian basins.

Keywords: runoff, biogenic elements, organic substances, anthropogenic (man-made) component, trends in removal, river, sea.

**УДК 574.56+556.11 Трофимчук М.М.** О термодинамических решениях в экосистемной оценке водных объектов и мониторинге поверхностных вод

В статье приведены результаты многолетних исследований водных экосистем. Термодинамическая интерпретация традиционных гидробиологических показателей: первичной продукции и деструкции органического вещества позволила описывать состояние водных экосистем в терминах диссипативных структур и выявить ряд закономерностей функционирования водных экосистем неизвестных ранее. Были установлены критерии эволюции состояния водных экосистем, наличие аттракторов в динамике функционирования, описаны сценарии эволюции состояний в зависимости от исходных условий и режимов токсического воздействия, выявлен мультимодальный отклик водных экосистем на токсическое воздействие, дано обоснование метаболической мощности водной экосистемы как критерия устойчивости к внешним воздействиям. Обоснована возможность использования традиционных гидрохимических показателей – температуры воды и концентрации кислорода, для оценки изменения энтропии водной экосистемы. Разработана теоретически обоснованная шкала оценки экологического состояния водных объектов на основе энтропийного индекса.

Ключевые слова: водные экосистемы, первичная продукция, деструкция органического вещества, диссипативные структуры, аттрактор, метаболическая мощность, энтропийный индекс, оценка экологического состояния

**UDC 574.56+556.11 Trofimchuk M. M.** On thermodynamic solutions in ecosystem assessment of water bodies and surface water monitoring

The article presents the results of long-term research of aquatic ecosystems. Thermodynamic interpretation of traditional hydrobiological indicators: primary production and destruction of organic matter allowed describing the state of aquatic ecosystems in terms of dissipative structures and revealing a number of patterns of functioning of aquatic ecosystems that were previously unknown. Criteria have been determined the evolution of the state of aquatic ecosystems, the presence of attractors in the dynamics of functioning, options of evolution of states depending on initial conditions and modes of toxic effects have been described, revealed a multimodal response of aquatic ecosystems to toxic effects, substantiated of the metabolic power of the aquatic ecosystem as a criterion of resistance to external influences. The possibility of using traditional hydrochemical indicators – water temperature and oxygen concentration, to assess

changes in the entropy of the aquatic ecosystem is proved. A theoretically based scale for assessing the ecological state of water bodies based on the entropy index has been developed.

Keywords: water ecosystems, primary production, destruction of organic matter, dissipative structures, attractor, metabolic power, entropy index, assessment of ecological state

**УДК 504.455:4.062/556.114+554.042+574.64 Хоружая Т.А.** Химико-биологические критерии и параметры экологического неблагополучия как возможная основа для разработки мер по реабилитации водохранилищ

В результате анализа многолетних химико-биологических данных мониторинга и научных публикаций о состоянии Цимлянского и Маньчских водохранилищ (Веселовского и Пролетарского), проведенного согласно документу Росгидромета Р 52.24.763-2012, выявлен ряд признаков экологического неблагополучия: экологического напряжения, чрезвычайной экологической ситуации (обратимых изменений) и экологического бедствия (необратимых изменений) по отношению к относительно удовлетворительному состоянию. Выделены две группы показателей состояния биотической и абиотической компонент водной экосистемы, наиболее значимые по их вкладу в формирование экологического неблагополучия, которые предлагается использовать как «мишени» для разработки мер по реабилитации водохранилищ.

Ключевые слова: водохранилища, состояние, экологическое неблагополучие, водная экосистема, биотическая и абиотическая компонента, химико-биологические показатели, мониторинг

**UDC 504.455:4.062/556.114+554.042+574.64 Khoruzhaya T.A.**

Chemical and biological criteria and parameters of ecological trouble as a possible basis for the elaborate of me

As a result of the analysis of long-term chemical and biological monitoring data and scientific publications on the state of the Tsimlyansk reservoir and Manych (Veselovsky and Proletarian) held under document of Roshydromet R 52.24.763-2012, revealed a number of signs of ecological trouble: ecological stress, extraordinary ecological state (reversible changes) and ecological disasters (irreversible changes) in relation to a relatively satisfactory state. Two groups of indicators of the status of biotic and abiotic component of the aquatic ecosystems, the most significant in their contribution to the formation of ecological trouble, which can be used as "targets" for elaboration of measures on rehabilitation of the reservoirs.

Keywords: water reservoirs, state, ecological trouble, water ecosystem, biotic and abiotic components, chemical and biological indicators, monitoring

**УДК 628.394.6:597.585.1-1.05(262.54) Цема Н.И., Бугаев Л.А., Лужняк В.А.** Характеристика репродуктивного потенциала бычка-кругляка *Neogobius Melanostomus* (Pallas, 1814) в условиях повышения солености вод Азовского моря

Представлены результаты исследований физиолого-биохимических показателей состояния производителей бычка-кругляка из Азовского моря в нерестовый период. Показано снижение репродуктивной функции самок из Таганрогского залива. Делается вывод о том, что повышение солености моря наряду с антропогенными факторами среды снижает репродукционный потенциал производителей и влияет на темпы воспроизводства бычка-кругляка.

Ключевые слова: бычок-кругляк, Азовское море, гепатосоматический индекс, гонадосоматический индекс, ГСИ, плодовитость, каротиноиды.

**UDC 628.394.6:597.585.1-1.05(262.54) Tsema N.I., Bugaev L.A., Luzhnyak V.A.** Characteristics of reproductive potential of the goby *Neogobius Melanostomus* (Pallas, 1814) under increasing salinity of the sea of Azov

The physiological and biochemical parameters of the round goby breeders from the Sea of Azov have been studied during the spawning period of the fish and results are presented. The reproductive function of the round goby females from the Taganrog Bay is shown to decrease. The increased sea salinity along with anthropogenic environmental factors reduces the reproductive potential of breeders and affects the reproduction rate of the round goby.

Keywords: round goby, Sea of Azov, hepatosomatic index, gonadosomatic index, hepatosomatic index, fecundity, carotenoids

**УДК 626.810 Чембарисов Э. И., Хожамуратова Р.Т., Рахимова М.Н., Шодиев С.Р.** Современное качество речных вод Узбекистана

В данной статье приведены результаты анализа многолетнего изменения количества солей, поступающих вместе с оросительной водой на поливные земли и состава этих солей, с выделением

доли токсичных солей, влияющих на мелиоративное состояние исследуемых агроландшафтов. Одним из аспектов проведенных исследований является изучение многолетнего изменения минерализации и химического состава речных вод региона. В лаборатории гидрометрии и метрологии НИИИВП в рамках фундаментальной темы: «Генезис, формирование и режим поверхностных вод Узбекистана и их влияние на загрязнение и засоление агроландшафтов» проводились научные исследования на основе обобщения имеющихся фондовых материалов и полевых исследований по качеству речных вод в различных областях республики.

Ключевые слова: качество речных вод, бассейны рек Амударья и Сырдарья, содержание токсичных солей, преобладающий химический состав.

**UDC 626.810 Chembarisov E.I., Khojamuratova R.T., Rakhimova M.N., Shodiev S.R.** Modern quality of river waters of Uzbekistan

This article presents the results of an analysis of a long-term change in the amount of salts entering irrigated water together with irrigation water and the composition of these salts, with the allocation of a fraction of toxic salts affecting the reclamation state of the studied agrolandscapes. One of the aspects of the research is the study of the long-term changes in the mineralization and chemical composition of the region's river waters. In the laboratory of hydrometry and metrology of NIIIVP, within the framework of the fundamental topic: "Genesis, formation and regime of surface waters of Uzbekistan and their influence on pollution and salinization of agrolandscapes", scientific research is carried out on the basis of a synthesis of available stock materials and field studies in various regions of the country.

Keywords: river water quality, Amudarya and Syr Darya river basins, toxic salt content, prevailing chemical composition.