Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу
окружающей среды (Росгидромет)
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«КАСПИЙСКИЙ МОРСКОЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР»
(ФГБУ «КаспМНИЦ»)

# БЮЛЛЕТЕНЬ О СОСТОЯНИИ И ЗАГРЯЗНЕНИИ УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ Р. ВОЛГА И МОРСКОЙ СРЕДЫ РОССИЙСКОГО СЕКТОРА КАСПИЙСКОГО МОРЯ ЗА 2023 ГОД

Астрахань, 2024

# РЕФЕРАТ

Отчет 85 с., 1 кн., 82 рис., 11 табл., 31 источн., 1 прил.

Р. ВОЛГА, ДЕЛЬТА, КАСПИЙСКОЕ МОРЕ, СЕВЕРНЫЙ КАСПИЙ, СРЕДНИЙ КАСПИЙ, УСТЬЕВОЕ ВЗМОРЬЕ, ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА, СТОК ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ, ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОД, ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Предметом исследований является сток загрязняющих веществ р. Волги в Каспийское море, состояние и уровень загрязнения поверхностных вод водотоков дельты р. Волги, акватории устьевого взморья р. Волги и акватории дагестанского шельфа. Исследования поверхностных вод дельты выполнены на основе данных наблюдений на гидрологическом посту Верхнелебяжье, на 8 стационарных постах в дельте р. Волги. Оценка качества вод акватории Северного и Среднего Каспия проводилась в районах вековых разрезов государственной наблюдательной сети Росгидромета. Работа проведена по результатам государственного экологического мониторинга.

Цель работы – оценка стока загрязняющих веществ, поступающих в Каспийское море, анализ современного состояния и изменения уровня загрязнения дельты и морской среды устьевой области р. Волги за 2023 г.

Для определения качества водоемов по комплексу гидрохимических показателей (ингредиентов) использовались методы, рекомендованные Росгидрометом: РД 52.15.880-2019 «Руководство по организации и проведению наблюдений, оценке состояния и загрязнения морской среды в районах разведки и разработки морских нефтегазовых месторождений» [1]; РД 52.24.643-2002 «Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям» [2].

Результатом работы является ежегодный бюллетень о состоянии и загрязнении устьевой области р. Волги за 2023 год, в котором представлены комплексная оценка стока загрязняющих веществ р. Волги, уровня загрязнения поверхностных вод дельты Волги и морской среды Каспийского моря в 2023 году.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……...……..... 7
1 Литературный обзор……..….... 9
2 Материалы исследования и методы оценки качества вод……..... 13
3 Оценка стока загрязняющих веществ р. Волги в Каспийское море в 2023 году...…. 16
4 Состояние и загрязнение дельты р. Волги в 2023 г……...…..….. 19
5 Состояние и загрязнение Каспийского моря в 2023 г…….……...……..… 35
ЗАКЛЮЧЕНИЕ……...……..... 78
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ……..... 80
ПРИЛОЖЕНИЕ…… 83

## ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящем отчете о НИР применяют следующие термины с соответствующими определениями:

| | | |
|---|---|---|
| Акватория | – | водное пространство в пределах естественных, искусственных или условных границ [3]. |
| Вековой океанографический разрез | – | вертикальное сечение океана (моря), отражающее его структуру по распределению какого-либо элемента: температуры, солености, плотности, содержанию кислорода, скорости течения, биомассы планктона и т. п. Выполняется регулярно в течение многих лет [4]. |
| Вершина дельты | – | место деления реки на крупные дельтовые рукава, переносящие речную воду непосредственно в приемный водоем [5]. |
| Гидрологический пост | – | пункты стационарных гидрологических наблюдений, прикрепленные к гидрологическим станциям, производят стандартные, т. е. регламентированные, наблюдения за основными элементами гидрологического режима [4]. |
| Государственный экологический мониторинг | – | (государственный мониторинг окружающей среды) – комплексные наблюдения за состоянием окружающей среды, в том числе компонентов природной среды, естественных экологических систем, за происходящими в них процессами, явлениями, оценка и прогноз изменений состояния окружающей среды [6]. |
| Загрязняющие вещества | – | вещества или смеси веществ, количество и (или) концентрация которых превышают установленные для химических веществ, в том числе радиоактивных, иных веществ и микроорганизмов, нормативы и оказывают негативное воздействие на окружающую среду [6]. |

## ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

В настоящем отчёте о НИР применяют следующие сокращения и обозначения:

| | | |
|---|---|---|
| АПАВ | – | анионные поверхностно-активные вещества |
| АЦГМС | – | Астраханский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды |
| БВ | – | биогенные вещества |
| $БПК_5$ | – | биологическое потребление кислорода (5 суток) |
| ВР | – | вековой разрез |
| Гидропост | – | гидрологический пост |
| ГСН | – | Государственная сеть наблюдений |
| ГХЦГ | – | гексахлорциклогексан |
| ДДТ | – | дихлордифенилтрихлорэтан |
| ДДЭ | – | дихлордифенилдихлорэтилен |
| дно | – | придонный горизонт |
| ДО | – | донные отложения |
| ЗВ | – | загрязняющее вещество |
| ИЗВ | – | индекс загрязненности вод |
| КХА | – | количественный химический анализ |
| макс | – | максимум |
| мБС | – | метров Балтийской системы высот |
| мин | – | минимум |
| НУ | – | нефтяные углеводороды |
| ПДК | – | предельно допустимая концентрация |
| пов | – | поверхностный горизонт |
| ПОС | – | правобережные очистные сооружения |
| РД | – | Руководящий документ |
| Рмин | – | фосфор минеральный |
| Робщ | – | общий фосфор |
| Рорг | – | органический фосфор |
| Росгидромет | – | Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды |
| СПАВ | – | синтетические поверхностно-активные вещества |

| | | |
|---|---|---|
| ТМ | – | тяжелые металлы |
| УКИЗВ | – | удельный комбинаторный индекс загрязненности вод |
| ФГБУ «КаспМНИЦ» | – | Федеральное государственное бюджетное учреждение «Каспийский морской научно-исследовательский центр» |
| ХОП | – | хлорорганические пестициды |
| ХПК | – | химическое потребление кислорода |
| ЦКК | – | целлюлозно-картонный комбинат |
| α-, β-, γ-ГХЦГ | – | изомеры гексахлорциклогексана |
| Nмин | – | азот минеральный |
| Nобщ | – | общий азот |
| Nорг | – | органический азот |

# ВВЕДЕНИЕ

Каспийское море, расположенное на границе двух больших частей Евразийского материка, является крупнейшим водоемом, не имеющим выхода к Мировому океану. При отметке уровня воды - 27 м (мБС) оно имеет общую площадь 392 600 км$^2$, что составляет 18 % от общей площади всех озер земного шара. Однако в настоящее время его уровень продолжает снижаться. Акватория Каспийского моря соизмерима с площадью Балтийского моря (387 000 км$^2$) и превышает площадь Адриатического моря (139 000 км$^2$). Протяженность моря с севера на юг составляет 1030 км, с востока на запад – 435 км. Общая протяженность береговой линии Каспийского моря составляет 5778 км [7].

Добыча нефти, рыболовство и судоходство являются наиболее распространенными видами экономической деятельности в акватории Каспийского моря. Каспийский регион богат биологическими ресурсами и является крупнейшим в мире нерестилищем осетровых рыб. Биологическое разнообразие Каспийского моря сравнительно невелико, но отличается высоким эндемизмом. В бассейне Каспийского моря хорошо развиты промышленность и сельское хозяйство. На западном побережье Каспийского моря промышленность и экономика находятся на более высоком уровне развития, чем на восточном побережье.

Открытие и активное освоение нефтегазовых месторождений шельфовой зоны Каспийского моря позволяют считать Прикаспийский регион одним из самых перспективных регионов по добыче углеводородного сырья. В российской части континентального шельфа Каспия насчитывается более 11 нефтегазоносных провинций. В нефтегазогеологическом аспекте особенно выделяются северная (Северный Каспий) и центральная (Средний Каспий) части моря. Особенностью углеводородных месторождений региона считается их многопластовость, наличие в единой структуре залежей разных типов и комплексов [8].

С территории России в море впадают Волга, Терек, Сулак и Самур. Самур является пограничной рекой с Азербайджанской Республикой. Нормальный среднегодовой сток р. Волги составляет 245 км$^3$ или около 80 % поверхностного стока в море, поэтому состояние р. Волги во многом определяет формирование условий Каспийского моря [9-12]. Устьевая область Волги является уникальной экосистемой, которая в настоящее время испытывает значительную антропогенную нагрузку, в том числе от загрязнения из источников, располагающихся на суше, в водосборном бассейне Волги. Высокая

концентрация населения и производства в водосборном бассейне р. Волги приводят к высокой техногенной нагрузке [13].

Отслеживание и оценка текущих изменений гидрохимических условий Каспийского моря является одной из важных составляющих обеспечения информацией федеральных, региональных и территориальных органов власти и управления, предприятий морских отраслей экономики, действующих на Каспийском море. Оперативная информация о состоянии морской среды Каспийского моря особую актуальность приобретает в связи с интеграцией усилий прикаспийских государств по рациональному использованию природных ресурсов и защите природной среды Каспийского моря.

Настоящий бюллетень содержит анализ данных государственного экологического мониторинга, проведенного в 2023 г. на акватории дельты реки Волги и в российском секторе недропользования Каспийского моря. Результаты исследования, представленные в данном отчете, включают в себя характеристики пространственно-временной изменчивости концентраций загрязняющих веществ (ЗВ) в водах устьевой области р. Волги и Каспийского моря, а также ориентировочную оценку стока загрязнений в Каспийское море по 27 гидрохимическим показателям. На основании результатов анализа дана оценка текущего состояния и загрязненности поверхностных вод и морской среды Каспийского моря за 2023 г.

Бюллетень состоит из пяти разделов. В первом приводится литературный обзор проведенных ранее исследований дельты р. Волги и Каспийского моря; во втором приведены материалы и методы исследований. Третий раздел посвящен анализу и оценке стока ЗВ в Каспийское море; четвертый – состоянию загрязнения дельты р. Волга в 2023 г. В пятом разделе приведена оценка состояния и загрязнения Каспийского моря в 2023 г.

Данный отчет является заключительным этапом исследований в рамках раздела 4.6.1. проекта «Развитие моделей, методов и технологий мониторинга гидрохимического состояния и загрязнения морей России и оценки гидрологического и гидрохимического состояния морей и морских устьев рек» за период 2020-2024 гг. За пятилетний период по этой теме были подготовлены и опубликованы на официальном сайте ФГБУ «КаспМНИЦ» caspianmonitoring.ru ежегодные (2019-2023 гг.) бюллетени о состоянии и загрязнении устьевой области р. Волги и морской среды российского сектора Каспийского моря.

# 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Острота экологической ситуации в стране в первую очередь затрагивает интересы рыбного хозяйства, поскольку водоемы и водотоки, являющиеся местом обитания промысловой ихтиофауны, находятся под мощным антропогенным прессом, аккумулируя плохо очищенные промышленные и бытовые стоки, содержащие ЗВ различной природы и происхождения. Говоря об оценке антропогенного воздействия на природные объекты, нельзя не затронуть экологические проблемы Прикаспийского региона, состояние которого многими авторами оценивается как предкризисное [14, 15].

Волга – крупнейшая река Европы, в нее впадает 2600 рек. Волга ежегодно приносит в Каспийское море около 250 км$^3$ воды. Волжский бассейн составляет только 8 % территории Российской Федерации, однако включает территории 38 субъектов РФ, и на его площади располагается 31 % площади посевов страны, 43 % основных фондов экономики, производится почти половина валового регионального продукта и проживает более трети населения страны. Из-за этого антропогенная нагрузка в регионе за последние десятилетия выросла в 8 раз по сравнению с другими регионами России. Ежегодно со сточными водами в реку поступает свыше 2,5 млн т ЗВ.

В бассейне р. Волги насчитывается около 6 тыс. водовыпусков и точечных источников загрязнения, которые ежегодно сбрасывают до 20 % всех загрязненных вод России, при этом наиболее высокий коэффициент водооборота отмечается на Нижней Волге (92,7 %), что объясняется значительным развитием топливной, металлургической и химической промышленности и используемыми технологиями оборотного водопотребления. Усиливающиеся климатические изменения могут усугубить негативное воздействие на водную среду.

Волга относится к наиболее зарегулированным гидротехническими сооружениями и крупными водохранилищами равнинным рекам мира. Зарегулирование и использование водных ресурсов в бассейне Волги в 1950-1970 гг. кардинально изменило гидрологические условия ее низовий и наряду с местными антропогенными воздействиями привело к нарушениям в функционировании водных и наземных геоэкологических систем региона, многие из которых находятся в настоящее время в состоянии истощения и деградации [16].

Устьевые области рек особо чувствительны к антропогенному изменению речных бассейнов, в первую очередь к загрязнению. Сказанное в полной мере относится и к устьевой области р. Волги. Экосистема устьевой области р. Волги по критериям оценки

риска антропогенного воздействия приоритетных ЗВ на поверхностные воды суши функционирует в состоянии переходном от «равновесного» в «кризисное», а по уровню развития сообществ водных организмов (планктонных и бентосных) она испытывает антропогенное напряжение с элементами экологического регресса [17, 18].

Устьевая область Волги включает и уникальную экосистему северной части Каспийского моря. Формирование экосистемы Северного Каспия происходит под влиянием гидролого-морфологических процессов и процессов переноса и трансформации ЗВ в дельте Волги. Экосистема Северного Каспия также испытывает значительную антропогенную нагрузку, в том числе от загрязнения из источников, располагающихся в водосборном бассейне Волги [9].

Северный Каспий (площадь которого в большей степени зависит от уровня моря и составляет примерно 80 тыс. км$^2$) – самая мелководная часть моря с глубинами 2-10 м. Рельеф дна – слабо волнистая аккумулятивная равнина с множеством банок и аккумулятивных островов. Зона смешения речных и морских вод в этой области формирует довольно узкий в глобальных масштабах пояс – маргинальный фильтр. Здесь происходят значительные по масштабам процессы флоккуляции и коагуляции растворенных (коллоидных) и взвешенных веществ, биоассимиляции и биофильтрации [19-21].

Северный Каспий отделяется от Среднего Каспия Мангышлакским порогом. В пределах Среднего Каспия (площадь около 138 тыс. км$^2$) выделяются: Дербентская впадина (максимальная глубина 788 м), шельф и материковый склон, осложнённый подводными оползнями и каньонами; на северном, довольно пологом склоне обнаружены реликты древних речных долин.

На юге Средний Каспий отделен от Южного Каспия Апшеронским порогом, на котором расположен ряд банок и островов [19].

В Каспийском море господствует циклональная циркуляция вод, обусловленная главным образом речным стоком и господствующими ветрами. Массы воды движутся с севера на юг вдоль западного берега моря к Апшеронскому полуострову, где течение разделяется: одна ветвь продолжается вдоль западного берега, другая пересекает Каспийское море в области Апшеронского порога и у восточного берега соединяется с водами, движущимися на север вдоль восточного берега из Южного Каспия.

Для Каспийского моря, как и для любого замкнутого водоема, характерны значительные изменения природных условий, обусловленные комплексом климатических, гидрологических и геологических процессов, протекающих в пределах его водосборного

бассейна. Среди компонентов природного комплекса моря весьма существенно изменяются морфометрия и топография водоема [13]. Основным природным фактором, влияющим на различные компоненты природной среды Волго-Каспийского региона, является изменение климата: метеорологические условия являются важным параметром, влияющим не только на деятельность человека в прибрежной и открытой части моря, но и на гидрологические процессы. Изменения климата определяют динамику теплового и водного баланса моря, а также интенсивность водообмена между Северным и Средним Каспием. Из числа термических показателей экологическое значение имеет суровость зим. Состоянием увлажнения бассейна Волги определяется объем годового стока реки – главного фактора, влияющего на функционирование экосистемы Северного Каспия. При уменьшении водообмена биопродуктивность Северного Каспия повышается, а Среднего Каспия – снижается. При увеличении водообмена наблюдается обратная картина. Гидрометеорологические условия влияют на перенос и изменение концентрации ЗВ, формирование биологических процессов. Так, наблюдавшееся в 30-х годах прошлого столетия уменьшение увлажненности в бассейне Каспия обусловило значительное сокращение объема вод и резкое понижение уровня моря. Это привело к сокращению площади водной поверхности, изменению конфигурации береговой линии, уменьшению глубин, что, в свою очередь, также влияет на условия среды обитания гидробионтов [22].

Каспийское море с начала XX в. стало источником углеводородного сырья. По некоторым данным, потенциал углеводородных ресурсов составляет не менее 15 млрд условного топлива в нефтяном эквиваленте. Это ставит его на 2 место в мире (после Персидского залива) по запасам нефти и газа. В XX в. нефть и газ добывались в районе Апшеронского полуострова и у островов Бакинского и Апшеронского архипелагов, где глубина моря составляет более 100 м. В XXI в. началась активная разведка и добыча нефти и газа в мелководной шельфовой зоне моря, где глубина не превышает 10 м. Залежи расположены на глубине более 4000 м, где пластовое давление более 1000 атмосфер и температура продукта свыше 100-120 °С. При таких параметрах углеводородного сырья безопасное освоение месторождений Каспийского моря требует особого внимания [23].

Экологическая обстановка в российском секторе недропользования Каспийского моря зависит от сочетания природных и антропогенных факторов, воздействующих на морскую среду, а также от чувствительности, устойчивости и уязвимости морских экосистем к этому воздействию [24].

Исключительная сложность структурно-функциональной организации биологических сообществ на рассматриваемой акватории, обусловленная наличием в ее

пределах двух разнокачественных экосистем (северо- и среднекаспийской), а также высокая динамичность природно-хозяйственной обстановки требуют проведения разносторонних и регулярных исследований для оценки и прогноза будущих изменений, обусловленных повышением антропогенной нагрузки в связи с расширением масштабов нефтегазодобывающей деятельности.

В основе оценки динамики состояния загрязненности морской среды лежит определение источников поступления загрязнения и факторов, влияющих на распределение приоритетных ЗВ в воде и донных отложениях (ДО), а также механизмов трансформации вещества под воздействием факторов окружающей среды.

## 2 МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОД

Оценка пространственно-временной изменчивости концентраций ЗВ в водах устьевой области Волги и Каспийского моря и ориентировочная оценка стока этих веществ в Каспийское море проводились на основании статистической обработки массива данных режимных наблюдений за гидрохимическими параметрами и загрязнением поверхностных вод суши и морской среды в 2023 г.

Наблюдения в дельте р. Волги проводились на стационарных гидрологических постах (гидропост), расположенных на основных магистральных рукавах. Режимные наблюдения за загрязнением поверхностных вод суши проводятся ежемесячно в течение года на 8 постах, расположенных в верхней и средней зонах дельты р. Волги (в нижней зоне посты наблюдений отсутствуют). Согласно районированию [9] вершиной дельты служит исток левого крупного дельтового рукава Бузан, расположенного в 50 км выше г. Астрахани (п. Верхнелебяжье). К западной части верхней зоны относятся гидропосты ПОС, ЦКК (р. Волга) и Кривая Болда (рук. Кривая Болда). К восточной части дельты относится гидропост Подчалык (с. Подчалык) на протоке Кигач. Основное русло р. Волги (гидропост Ильинка) и рук. Камызяк (гидропост Камызяк) относится к западной части средней зоны, а в восточной части средней зоны наблюдения проводятся на гидропосту в с. Красный Яр (рук. Бузан) [5].

Морские экспедиции в 2023 г. проводились в период с апреля по октябрь. Наблюдения на морских станциях в Северном Каспии проводились в открытом море, на станциях вековых океанографических разрезов государственной сети наблюдений (ВР ГСН III, IIIа) в апреле, мае, июле, сентябре и октябре. Мониторинг состояния и загрязнения морской среды ВР ГСН IV проводился в апреле и в сентябре. В Среднем Каспии в июне и июле наблюдениями были охвачены морские прибрежные станции: Лопатин, Терек, Сулак, Махачкала. В сентябре экспедиция проводилась вдоль всего западного побережья Республики Дагестан (Терек, Сулак, Махачкала, Каспийск, Избербаш, Дербент, Самур) (всего 26 пунктов наблюдений в прибрежной зоне Республики Дагестан) (рисунок 1).

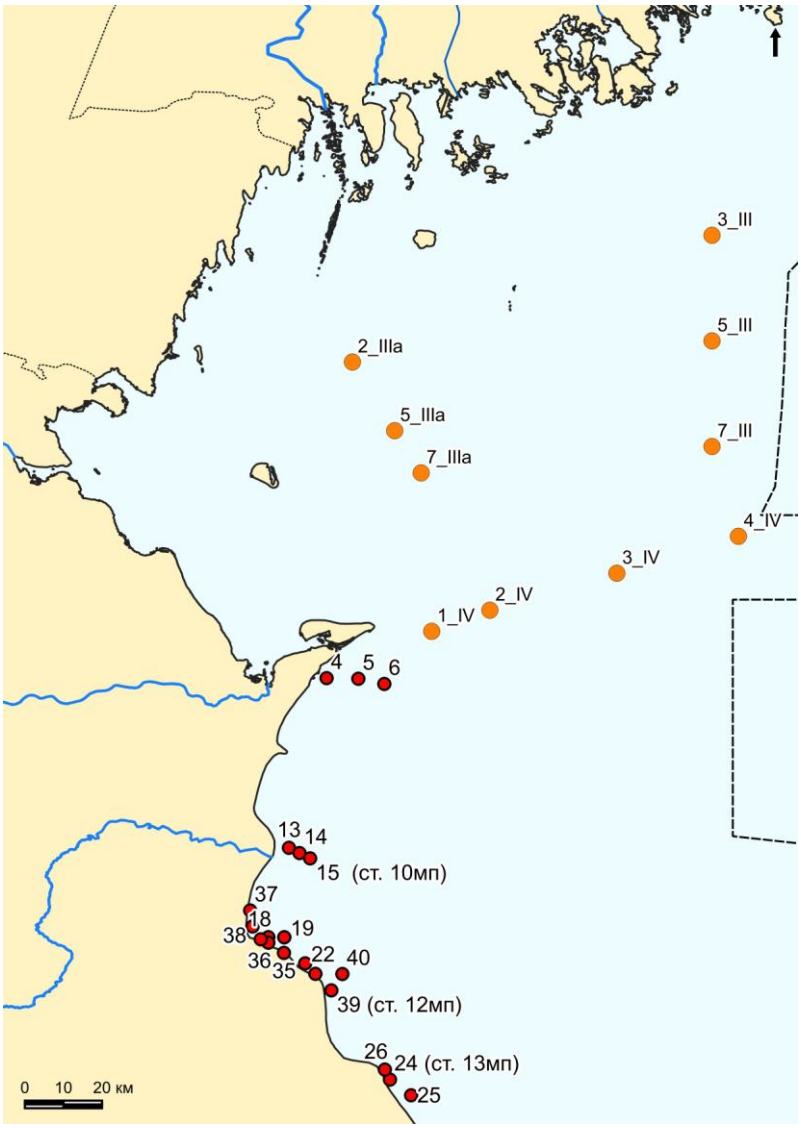



Рисунок 1 – Вековые океанографические разрезы государственной сети наблюдений в Северном Каспии и прибрежные морские станции в Среднем Каспии

Всего в ходе наблюдений в дельте р. Волги в 2023 г. определялось 40 показателей химического состава и загрязненности речных вод, из которых 25 показателей нормируются в рыбохозяйственных водоемах России [25].

В морской среде Каспийского моря определялось 12 гидрохимических показателей, которые оценивались относительно своей предельно допустимой концентрации (ПДК) [25]. Программа мониторинга включала основные гидрохимические показатели: уровень растворенного кислорода, водородный показатель, основные биогенные вещества (БВ), нефтяные углеводороды (НУ) и синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ). Концентрации тяжелых металлов (Zn и Cu) определялись только на станциях в районах Лопатин, Терек и Сулак. Анализ количественных показателей гидрохимических

параметров проводился в аккредитованной лаборатории Астраханского центра гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды (АЦГМС).

Анализ качества поверхностных вод дельты р. Волги и морской среды Северного и Среднего Каспия проводился по методикам, рекомендованным Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет): РД 52.15.880-2019 и РД 52.24.309-2016 [1, 26].

Оценка стока ЗВ с волжскими водами в Северный Каспий осуществлялась на основании данных о годовом водном стоке по основному руслу р. Волги у с. Верхнелебяжье.

Сток ЗВ рассчитывается как произведение средней за рассматриваемый период концентрации ЗВ на гидропосту с. Верхнелебяжье и среднего значения стока воды за рассматриваемый период, полученного на основании данных наблюдений за расходами воды в вершине дельты [5].

## 3 ОЦЕНКА СТОКА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ Р. ВОЛГИ В КАСПИЙСКОЕ МОРЕ В 2023 ГОДУ

Русловая система устья реки Волги является динамической системой. Устьевая область Волги включает одну из крупнейших в мире дельт и обширное устьевое взморье, она является уникальным географическим объектом, здесь интегрируются все естественные и антропогенные изменения стока и качества речных вод бассейна Волги. Через устье Волги транзитом проходит сток реки, определяющий водный и солевой баланс всего Северного Каспия. Гидрографическая сеть дельты подвержена сезонным изменениям, наиболее ярко выраженным после зарегулирования стока р. Волга [27].

Скорость течения воды в дельте зависит от величины водного стока Волги, поступающего в дельту, ледового режима, сгонно-нагонных ветров, а также геоморфологического строения и морфологических характеристик водоема. Наибольших значений скорость течения достигает в период весенне-летнего половодья, в этот же период (по литературным данным) наблюдаются максимальные значения стока ЗВ [5, 13]. Скорость течения, в свою очередь, влияет на процессы седиментации и на вынос ЗВ в море. Главным источником ЗВ (80-95%) в открытой части Северного Каспия считается именно сток, влияние которого распространяется практически на всю российскую часть Северного Каспия [9]. Вместе с речными водами в море выносится большое количество ЗВ, объем которых существенно увеличивается в многоводные годы [15].

Оценка стока ЗВ р. Волги в Каспий (таблица 1) выполнена на основе данных наблюдений за гидрологическими и гидрохимическими параметрами водной среды на посту с. Верхнелебяжье. Водный годовой сток по гидропосту с. Верхнелебяжье в 2023 г. составил 207,06 км$^3$, что ниже среднеклиматической нормы на 33 км$^3$ (в 2022 г. этот показатель составил 212,29 км$^3$).

Таблица 1 – Сток загрязняющих веществ р. Волги (гидропост с. Верхнелебяжье) в 2022-2023 гг.

| Показатели | 2022 г. | 2023 г. |
|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 |
| Взвешенные вещества, тыс. т | 2980,76 | 3177,43 |
| Гидрокарбонаты, тыс. т | 28581,88 | 26725,28 |
| Азот аммонийный, тыс. т | 4,67 | 5,46 |
| Нитритный азот, тыс. т | 2,55 | 2,35 |
| Нитратный азот, тыс. т | 47,55 | 12,01 |

Продолжение таблицы 1

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|
| Азот суммарный минеральный, тыс. т | 54,77 | 19,82 |
| Фосфор минеральный, тыс. т | 6,37 | 5,68 |
| Кремний, тыс. т | 1233,62 | 1115,61 |
| Железо, тыс. т | 18,89 | 10,92 |
| Медь, тыс. т | 0,36 | 0,22 |
| Цинк, тыс. т | 7,62 | 6,53 |
| Никель, тыс. т | 0,69 | 0,41 |
| Хром общий, тыс. т | 0,07 | 0,12 |
| Свинец, тыс. т | 0,08 | 0,08 |
| Молибден, тыс. т | 0,22 | 0,19 |
| Кобальт, тыс. т | 0,28 | 0,11 |
| Ртуть, т | 2,34 | 1,63 |
| Кадмий, тыс. т | 0,02 | 0,01 |
| Олово, тыс. т | 0,17 | 0,14 |
| Марганец, тыс. т | 0,77 | 0,86 |
| Фенолы, тыс. т | 0,21 | 0,56 |
| НУ, тыс. т | 10,61 | 10,60 |
| АПАВ, тыс. т | 10,83 | 8,18 |
| ДДЭ, т | 0,21 | 0,05 |
| ДДТ, т | 0,21 | 0,11 |
| α – ГХЦГ, т | 0 | 0,05 |
| γ – ГХЦГ, т | 0,21 | 0,04 |

В целом в 2023 г. прослеживается тенденция к снижению стока биогенов и ЗВ, которая была отмечена в 2022 г., однако отдельные компоненты демонстрируют обратную динамику.

Наблюдалось незначительное увеличение стока взвешенных веществ, их масса увеличилась в 1,1 раза. Масса БВ в стоке в 2023 г. имела неоднородную динамику. На фоне снижения водного стока незначительно снизился сток растворенного кремния. Количество поступающего аммонийного азота увеличилось в 1,2 раза, сток нитритного азота снизился в 1,1 раза по сравнению с 2022 г., а масса нитратного азота в стоке снизилась в 4 раза. Таким образом, сток минеральных форм азота снизился в 2023 г. в 2,8 раза. Сток минерального фосфора в 2023 г. составил 5,68 тыс. т, что всего в 1,1 раза меньше, чем в 2022 г.

В отчетном году по сравнению с 2022 г. снизился сток большинства тяжелых металлов (ТМ), за исключением хрома и марганца. Наиболее явно эта тенденция наблюдается для кобальта, его масса в стоке сократилась в 2,5 раза и составила 0,11 тыс. т. За год в 1,7 раза снизился сток железа и никеля, кадмия – в 2 раза. Сток меди снизился с в 1,6 раза, сток ртути – в 1,4 раза, а сток таких металлов как цинк, молибден и олово

снизился незначительно (в 1,2 раза). Количество свинца, поступающего в дельту р. Волги по гидропосту с. Верхенелебяжье, относительно прошлого года было стабильным. В 2023 г. увеличился сток хрома (в 1,7 раза) и сток марганца (в 1,1 раза).

Сток фенолов в 2023 г. вырос в 2,7 раза и составил 0,56 тыс. т. Количество НУ, поступающих со стоком, по сравнению с прошлым годом не изменилось, и было равно 10,60 тыс. т, а значение стока анионных поверхностно-активных веществ (АПАВ) снизилось в 1,3 раза.

Сток хлорорганических пестицидов (ХОП) в целом снизился в 2,5 раза, при этом в 2022 г. общий сток ХОП составлял 0,63 т и массовое содержание всех токсикантов группы ХОП было в равных долях, а в 2023 г. из 0,25 т ХОП преобладал ДДТ (0,11 т).

## 4 СОСТОЯНИЕ И ЗАГРЯЗНЕНИЕ ДЕЛЬТЫ Р. ВОЛГИ В 2023 Г.

Температура воды в водотоках дельты р. Волги в среднем за 2023 г. практически не изменилась по сравнению с предыдущим годом (рисунок 2). В ряде пунктов наблюдений (Верхнелебяжье, Правобережные очистные сооружения (ПОС), Целлюлозно-картонный комбинат (ЦКК), г. Камызяк и с. Красный Яр) температура воды возросла менее чем на 1 °С. Максимальное возрастание температуры (более чем на 3 °С) отмечено на гидропосту Подчалык (Приложение А).

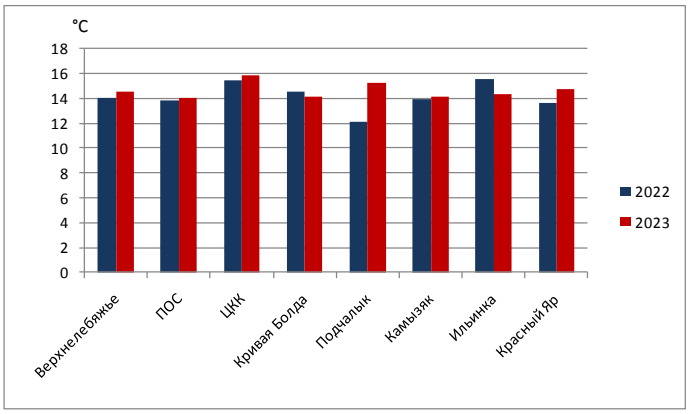
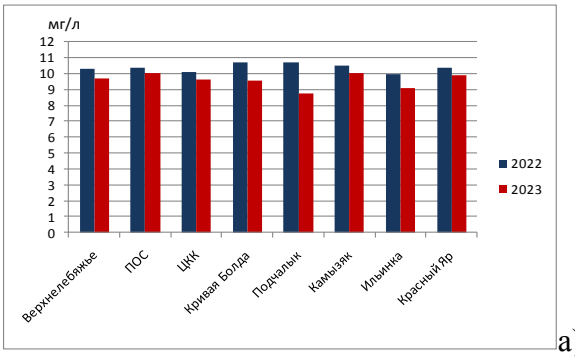


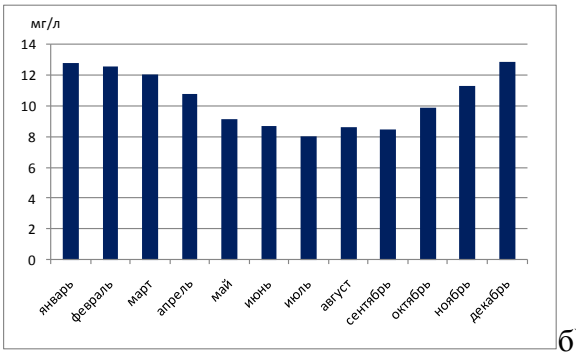

Рисунок 2 – Среднегодовая температура воды в водотоках дельты р. Волги в 2022-2023 гг.

Из литературных источников [13] следует, что среднемноголетняя (1978-2017 гг.) концентрация растворенного кислорода в водотоках дельты изменялась в диапазоне 10-12 мг/л, однако динамика этого показателя может отличаться на различных участках дельты.

В 2023 г. содержание растворенного кислорода в водотоках дельты снизилось по сравнению с 2022 г. и колебалось от 8,78 до 10,72 мг/л. Для сезонной динамики $O_2$ в дельте характерно снижение концентрации в июле (рисунок 3).




а)

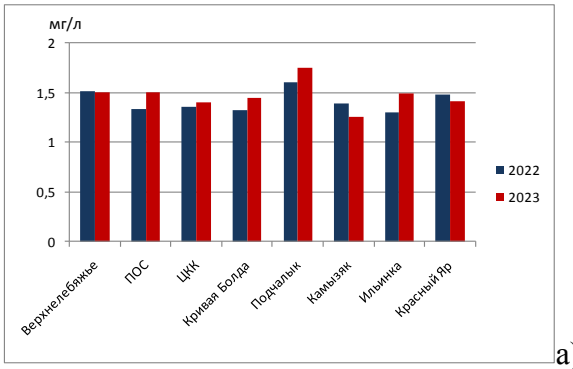



б)

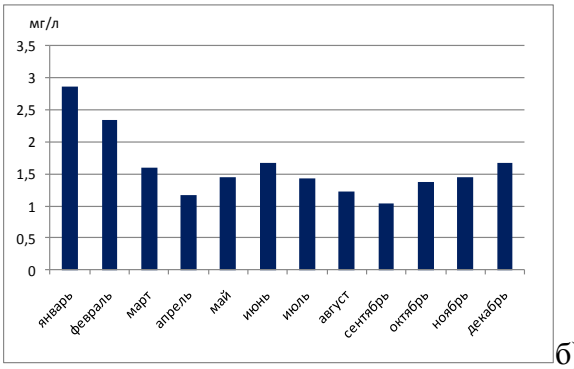
Рисунок 3 – Концентрация растворенного кислорода в водотоках дельты р. Волги в 2022-2023 гг. (а) и его сезонная динамика в 2023 г. (б)

В целом сезонная динамика растворенного кислорода в 2023 г. соответствовала многолетней тенденции: содержание $O_2$ в водах дельты снижалось от января к июлю и увеличивалось к декабрю [13]. Самое низкое значение было зарегистрировано у левого берега р. Волги возле пос. Ильинка, и составило 5,4 мг/л, что ниже установленного норматива. Самый высокий уровень кислорода в воде регистрировался в апреле и мае в рукаве Бузан, протоках Камызяк и Кривая Болда.

Многолетняя (1978-2017 гг.) динамика биологического потребления кислорода ($БПК_5$) характеризуется диапазоном колебаний его среднегодовых величин от 2 до 4 мгО/л с разовыми превышениями уровня до 4 мгО/л [13]. Среднегодовые значения этого показателя в 2023 г. увеличились по сравнению с 2022 г. (рисунок 4), но по-прежнему не превышали ПДК ($БПК_5$ < 2,0 мгО/л). Сезонная динамика величин $БПК_5$ в 2023 г. незначительно отличалась от многолетней тенденции [13]: резкое снижение $БПК_5$ в период январь – апрель сменилось незначительным возрастанием этого показателя в июне. К октябрю среднее значение $БПК_5$ достигло минимума, к декабрю наблюдалось увеличение $БПК_5$ (рисунок 4). Наибольшее значение $БПК_5$ в 2023 г. (1,7 ПДК) зафиксировано в феврале на гидропосту Подчалык.



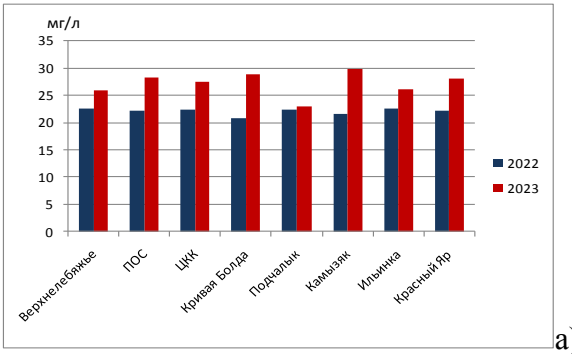
а)



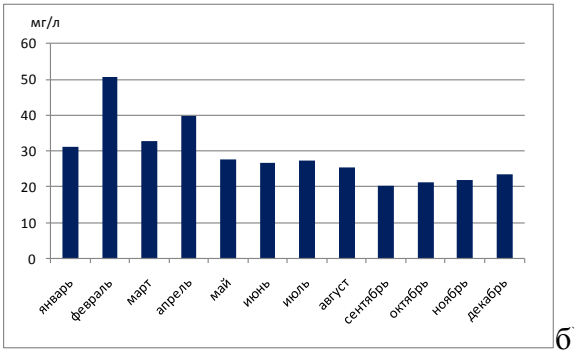
б)

Рисунок 4 – Уровень $БПК_5$ в водотоках дельты р. Волги в 2022-2023 гг. (а) и его сезонная динамика в 2023 г. (б)

По литературным данным, с начала 2000-х гг. отмечено увеличение значений химического потребления кислорода (ХПК) до 25-30 мгО/л [13]. В 2023 г. уровень ХПК колебался от 10 до 84,5 мгО/л (максимум превысил ПДК в 5,6 раз), по всем водотокам регистрировалось превышение допустимого уровня (15 мг/л) в среднем в 1,6 раз (рисунок 5, Приложение А). Анализ воды на стационарных постах демонстрирует стабильное увеличение этого показателя относительно 2022 г. Распределение данного показателя в 2023 г. было достаточно однородным, однако фиксировались единичные случаи высокого уровня загрязнения трудноразлагаемой органикой в феврале в рукаве Камызяк (5 ПДК) и в рукаве Кривая Болда (5,6 ПДК).



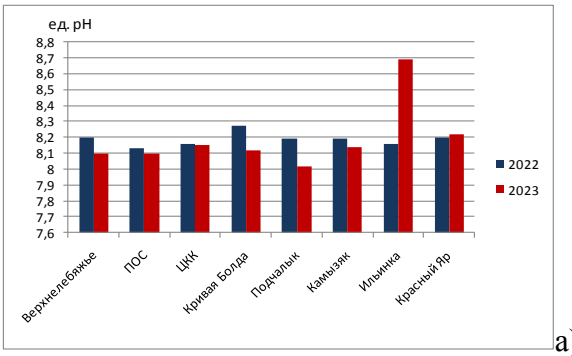

а)



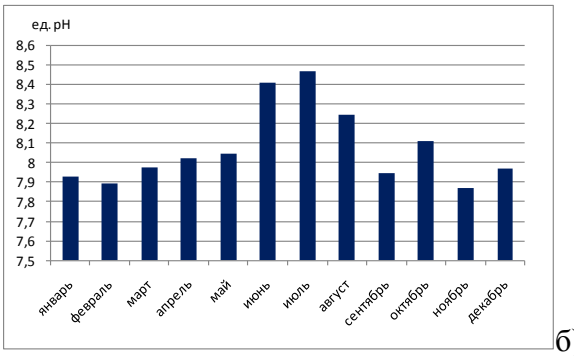

б)

Рисунок 5 – Уровень ХПК в водотоках дельты р. Волги в 2022-2023 гг. (а) и его сезонная динамика в 2023 г. (б)

В 2023 г. изменения водородного показателя по сравнению с 2022 г. в большинстве створов наблюдения были незначительны (рисунок 6). Резкое увеличение pH наблюдалось на гидропосту Ильинка в мае и июле, по левому и правому берегу р. Волги формировались щелочные условия (до 13,5 ед. pH), превышение установленного норматива pH (6,5-8,5 ед. pH) было зарегистрировано и в протоке Кигач (8,92 ед. pH). Из литературных источников известно, что среднемноголетний диапазон значения водородного показателя в дельте составляет от 8,0 до 8,3 ед. pH, что наиболее характерно для пресных вод. В 2023 г. диапазон колебаний средних значений водородного показателя в дельте составил 7,2-8,9 ед. pH.




а)



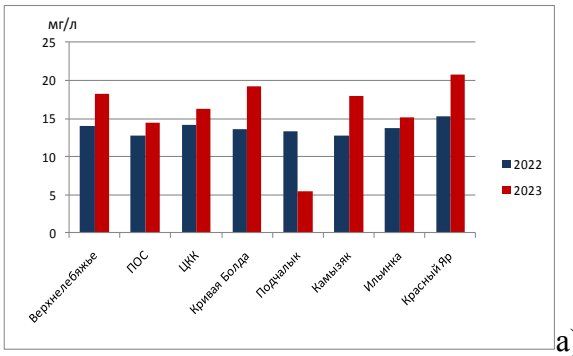

б)

Рисунок 6 – Водородный показатель в водотоках дельты р. Волги в 2022-2023 гг. (а) и его сезонная динамика в 2023 г. (б)

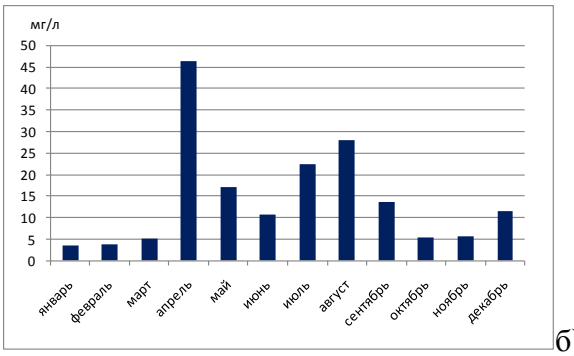
Сезонная динамика pH за два последних года отличалась от многолетней тенденции [13]. Повышение значений водородного показателя отмечено в июне и июле, в то время как в период 1978-2016 гг. в летние месяцы наблюдалось снижение и стабилизация pH (рисунок 6, Приложение А).

Многолетняя (1978-2017 гг.) тенденция к снижению концентрации взвешенных веществ, наблюдаемая и в 2021-2022 гг., в 2023 г. сменилась значительным увеличением

количества взвеси во всех водотоках дельты, кроме протоки Кигач (гидропост Подчалык), которая характеризуется низкими скоростями течений и низкой интенсивностью эрозионных процессов. В 2023 г. концентрация взвешенных веществ отличалась высокой изменчивостью, диапазон колебаний составил 2,0-70,7 мг/л. Самые высокие концентрации регистрировались в апреле, в пик половодья, и достигали 2-7 ПДК (рисунок 7). Повышение уровня взвешенных веществ наблюдалось также в июле и августе.



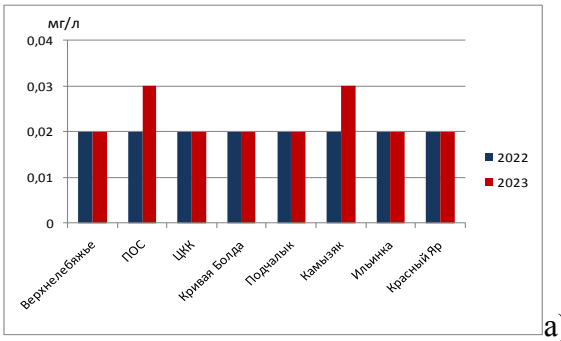
а)



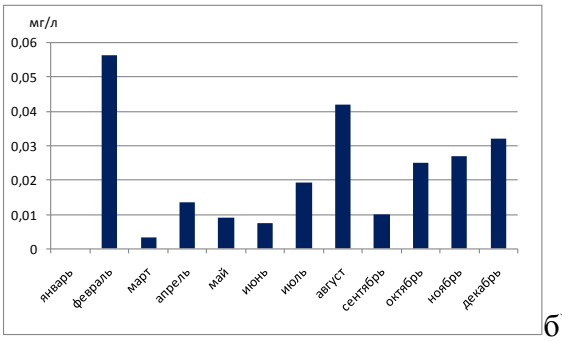
б)

Рисунок 7 – Взвешенные вещества в водотоках дельты р. Волги в 2022-2023 гг. (а) и их сезонная динамика в 2023 г. (б)

На протяжении 1980-2022 гг. среднегодовая концентрация $NH_4$ в дельте р. Волги редко превышала 0,1 мг/л [13, 28, 29], в 2023 г. диапазон колебаний уровня аммонийного азота составил 0,001-0,12 мг/л. В 2023 г. наибольшее значение $NH_4$ (0,12 мг/л) было отмечено на гидропосту ПОС в феврале. Пространственное распределение среднегодовых концентраций $NH_4$ в дельте было достаточно однородным (рисунок 8). Сезонная динамика аммонийного азота в 2023 г. значительно отличалась от многолетнего тренда [13]. Если в период 1978-2017 гг. наибольшие концентрации аммонийного азота регистрировались в мае, то в 2023 г. наибольшие значения иона аммония наблюдались в феврале и августе.



а)

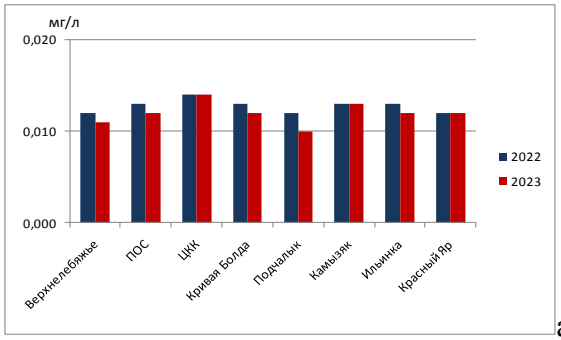


б)

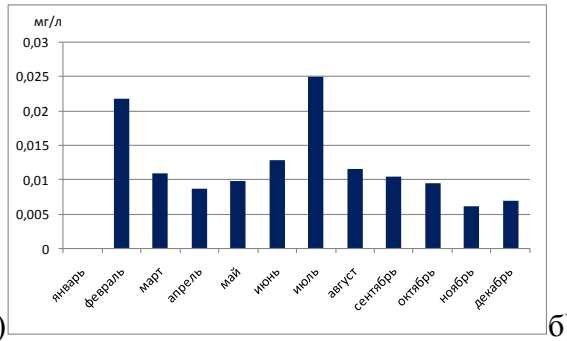
Рисунок 8 – Азот аммонийный в водотоках дельты р. Волги в 2022-2023 гг. (а) и его сезонная динамика в 2023 г. (б)

Содержание нитритного азота в водотоках дельты в 2023 г. носило достаточно однородный характер, по сравнению с 2022 г. уровень $NO_2$ практически не изменился.

Самые высокие концентрации нитритов регистрировалась в феврале и июле в верхней зоне западной части дельты (гидропосты: ПОС, ЦКК), где концентрация нитритов достигала 0,03 мг/л. В литературных источниках [13] также указывается на характерное повышение $NO_2$ в феврале. В 2023 г. произошло изменение сезонной динамики относительно среднемноголетнего периода: в течение 39 лет (1978-2017 гг.) наибольшие концентрации нитритов наблюдались в мае, в то время как в 2023 г. максимальный уровень нитритного азота отмечен в июле (рисунок 9, Приложение А).



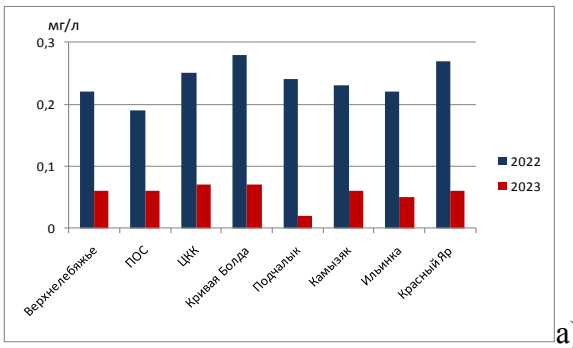
а)



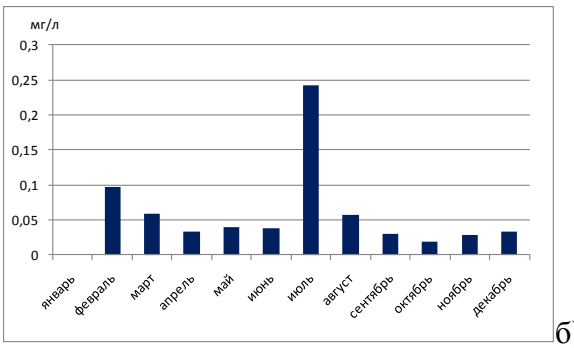
б)

Рисунок 9 – Азот нитритный в водотоках дельты р. Волги в 2022-2023 гг. (а) и его сезонная динамика в 2023 г. (б)

Концентрация нитратного азота в 2023 г. по всем водотокам значительно снизилась относительно прошлого года. Средние значения концентрации нитратов не достигали 0,1 мг/л, а на протяжении большей части периода 1978-2017 гг. средний уровень $NO_3$ составлял 0,2-0,4 мг/л [13]. Наибольшее значение концентрации $NO_3$ было зафиксировано в верхней зоне восточной части дельты (гидропост Красный Яр) в июле на уровне 0,29 мг/л. Сезонная динамика нитратов в 2023 г. также отличалась от многолетней тенденции. В течение 1978-2017 гг. максимальные концентрации нитратов регистрировались чаще всего в феврале и апреле, и достигали 0,45 мг/л, 2023 г. отличался повышением уровня $NO_3$ в июле (рисунок 10, Приложение А).



а)

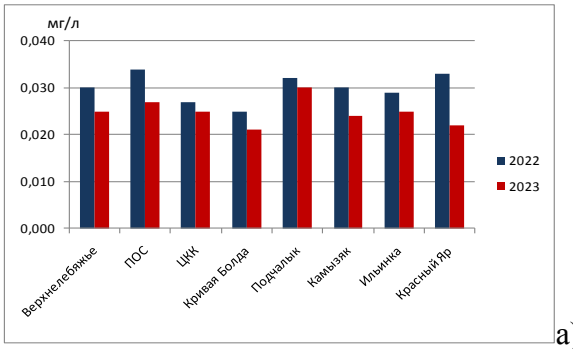


б)

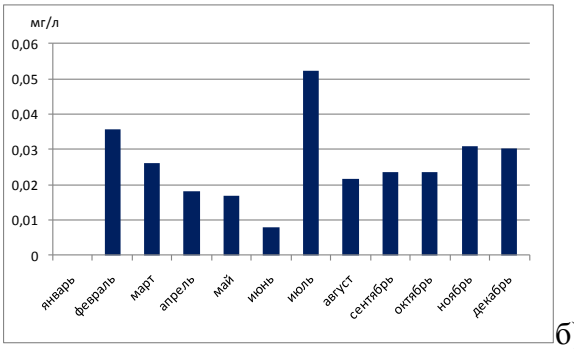
Рисунок 10 – Азот нитратный в водотоках дельты р. Волги в 2022-2023 гг. (а) и его сезонная динамика в 2023 г. (б)

Содержание нитратного и нитритного азота в вершине дельты у с. Верхнелебяжье в большинстве случаев было меньше, чем в водотоках ниже по течению, обогащение дельты соединениями азота может быть вызвано промышленными и сельскохозяйственными стоками.

Значения средних концентраций фосфатов в водотоках дельты в 2023 г. снизились относительно прошлого года и составили узкий диапазон 0,02-0,03 мг/л. Многолетние наблюдения за сезонной динамикой минерального фосфора показали характерное повышение значений $PO_4$ в осенне-зимний период и снижение в вегетационный период (рисунок 11, Приложение А), что объясняется высоким уровнем потребления фосфора фитопланктоном. Однако вопреки характерному распределению, в целом в дельте р. Волги в 2023 г. самые высокие концентрации наблюдались в июле. Максимальный уровень $PO_4$, в воде водотоков дельты зарегистрирован на гидропосту Камызяк в мае.



а)

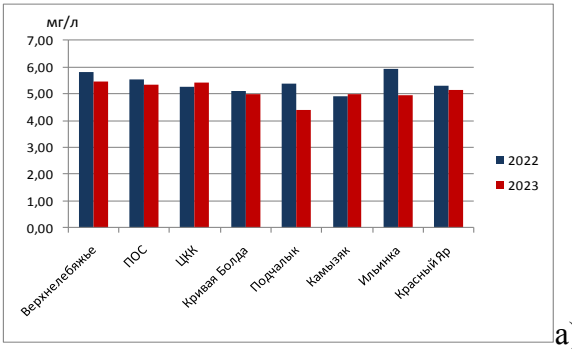


б)

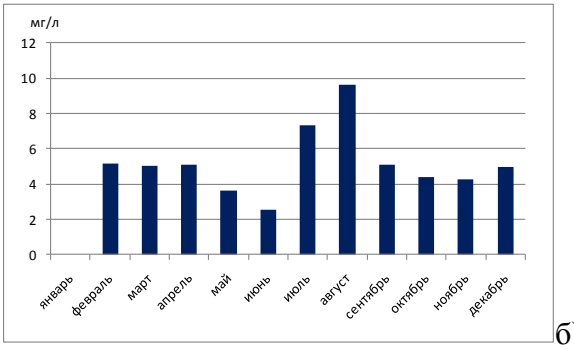
Рисунок 11 – Фосфор минеральный в водотоках дельты р. Волги в 2022-2023 гг. (а) и его сезонная динамика в 2023 г. (б)

Значительные изменения в динамике биогенов в 2023 г. относительно среднемноголетних показателей и синхронное увеличение концентрации в июле могут свидетельствовать об увеличении объемов промышленных и сельскохозяйственных стоков.

Сезонная динамика содержания кремния в дельте характеризуется снижением в вегетационный период и возрастанием в холодное время года, что отражает естественный биохимический цикл этого компонента. В 2023 г. годовой ход концентрации кремния отличался, наименьшие значения уровня по всем постам регистрировались в июне, что может объясняться значительным снижением скорости течения в водотоках к концу половодья и процессами седиментации, а максимальные наблюдались в июле и августе, что могло быть вызвано антропогенным воздействием. Диапазон колебаний концентрации Si в 2023 г. составил 2,05-11,35 мг/л, что в целом характерно для поверхностных вод, а пространственное распределение было достаточно однородным (рисунок 12, Приложение А).



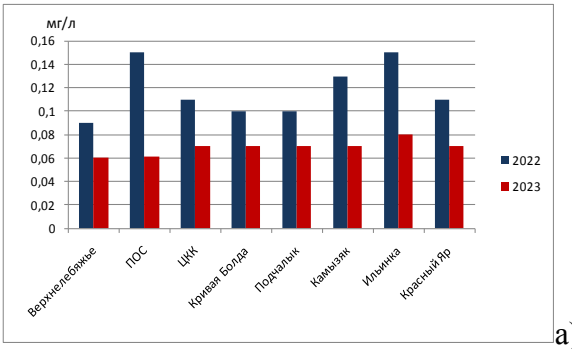
а)



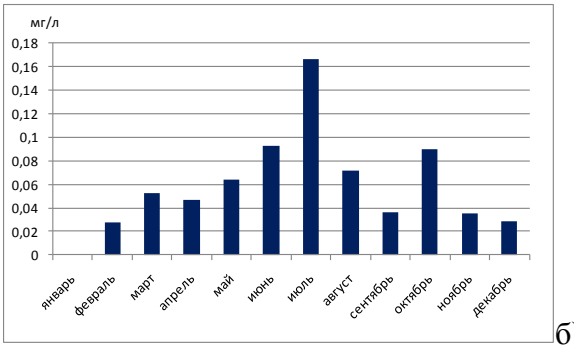
б)

Рисунок 12 – Кремний в водотоках дельты р. Волги в 2022-2023 гг. (а) и его сезонная динамика в 2023 г. (б)

В водотоках дельты р. Волги определялось количество ТМ, концентрация которых, за исключением марганца, хрома и свинца, в большинстве водотоков в 2023 г. снизилась по сравнению с 2022 г. Содержание железа в дельте снизилось в среднем в 1,7 раза, наиболее интенсивное снижение регистрировалось на гидропосту ПОС, где концентрация Fe относительно прошлого года сократилась в 2,5 раза (рисунок 13, Приложение А). Пространственное распределение этого металла было достаточно неоднородным, наибольшее его количество регистрировалось в западной части дельты на гидропосту Ильинка, где среднегодовая концентрация достигала 0,080 мг/л. Исторически (1978-2017 гг.) характерной чертой сезонной изменчивости Fe являлось снижение концентрации в летнюю межень, однако, вопреки сложившейся тенденции, в 2023 г. самые высокие концентрации железа во всех водотоках дельты р. Волги регистрировались в июле. Максимальный уровень железа отмечен в июле на посту Камызяк, где значение концентрации Fe достигало 2,5 ПДК.



а)



б)

Рисунок 13 – Железо в водотоках дельты р. Волги в 2022-2023 гг. (а) и его сезонная динамика в 2023 г. (б)

В 2023 г. водотоки дельты р. Волги характеризовались снижением содержания меди в 1,1-2 раза относительно 2022 г., исключение составила протока Кигач, так как на гидропосту Подчалык зафиксировано незначительное (в 1,2 раза) повышение

концентрации Cu. Среднегодовые концентрации во всех водотоках превышали установленный норматив (1 мкг/л). Превышение составило от 1,1 ПДК (гидропост с. Верхнелебжье) до 2,4 ПДК (гидропост Подчалык). Таким образом, наибольший уровень Cu в 2023 г. наблюдался в верхней зоне дельты. Пространственное распределение меди характеризовалось неоднородностью. Максимумы в 2023 г. регистрировались преимущественно в осенний период (октябрь, ноябрь), когда содержание меди достигало 3 ПДК (гидропост ЦКК) (рисунок 14).

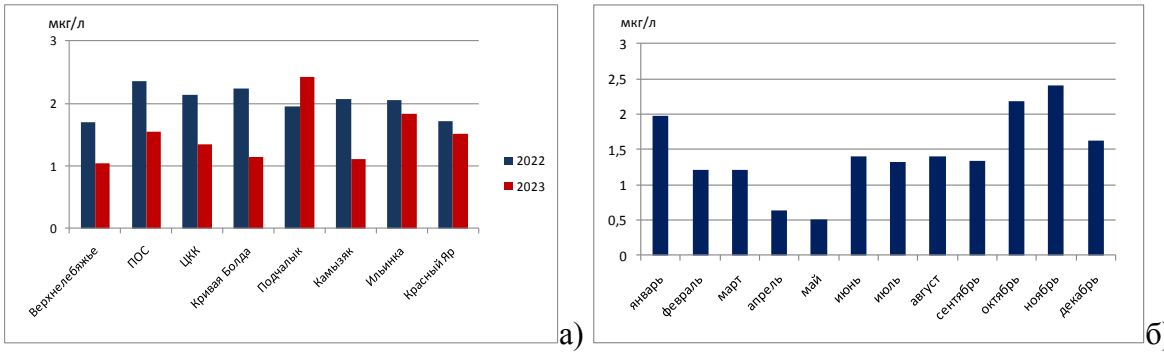
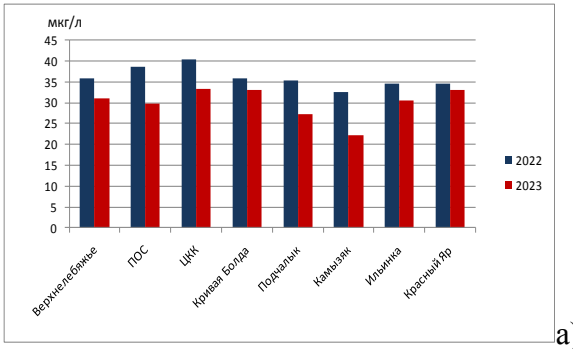
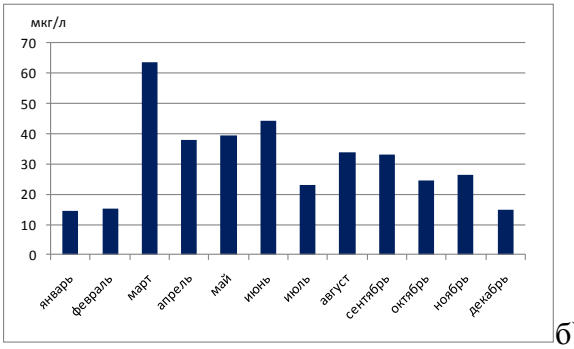



Рисунок 14 – Медь в водотоках дельты р. Волги в 2022-2023 гг. (а)
и ее сезонная динамика в 2023 г. (б)

Постоянные наблюдения за содержанием цинка в воде водотоков дельты Волги проводятся с 1978 г. Характерными чертами сезонного и пространственного распределения этого металла является увеличение концентрации во втором квартале в водах средней зоны дельты [13]. Сезонная динамика концентрации цинка в 2023 г. не отличалась от многолетней, наибольшие концентрации регистрировались в марте. Пространственное распределение цинка в 2023 г. было иным: в отличие от характерного (многолетнего) распределения, повышенные концентрации цинка наблюдались в верхней зоне дельты, на гидрологических постах ЦКК, Подчалык и Кривая Болда. В течение 2023 г. среднегодовые концентрации повсеместно превышали ПДК в 2,2-5,1 раза. Максимальные значения концентрации цинка были зарегистрированы на гидропосту Подчалык в марте и июне и составили соответственно 15,4 и 16,3 ПДК (рисунок 15, Приложение А).



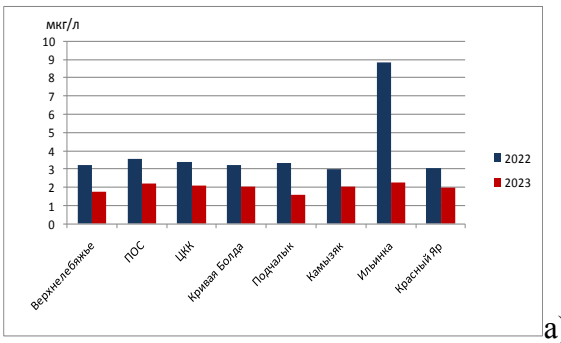
а)



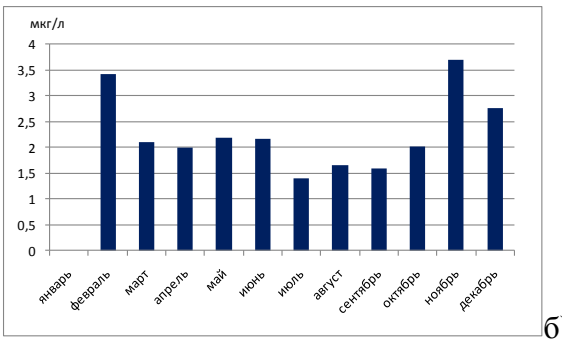
б)

Рисунок 15 – Цинк в водотоках дельты р. Волги в 2022-2023 гг. (а)
и его сезонная динамика в 2023 г. (б)

Значения концентрации никеля в 2023 г. в исследуемом районе продолжили наметившуюся в 2020 г. тенденцию к снижению (рисунок 16, Приложение А). Снижение среднегодового уровня этого тяжелого металла в 2023 г. было значительным: в 1,5 раза в рукаве Камызяк, в 4 раза в р. Волга у поста Ильинка. Концентрация Ni в дельте в 2023 г. изменялась в интервале 0,64-5,81 мкг/л, что соответствует многолетнему диапазону колебаний (0,035-23,75 мкг/л). При установленном в рыбохозяйственных водоемах нормативе 10 мкг/л, превышений ПДК в 2023 г. не выявлено. Самые высокие значения отмечались в основном в зимнюю и осеннюю межень, максимум содержания никеля (5,81 мкг/л) был зарегистрирован в ноябре на гидропосту Подчалык.



а)

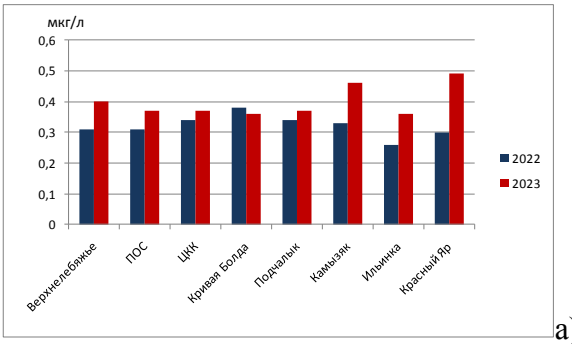


б)

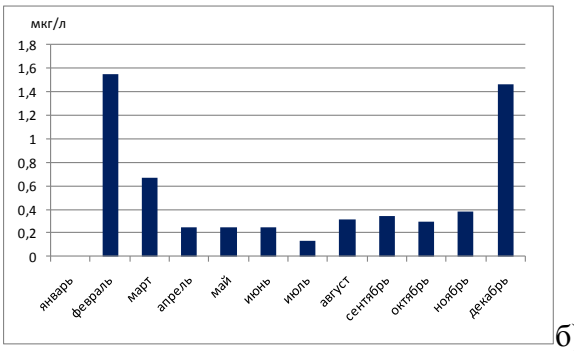
Рисунок 16 – Никель в водотоках дельты р. Волги в 2022-2023 гг. (а)
и его сезонная динамика в 2023 г. (б)

В 2023 г., как и в 2022 г., выявлена тенденция к увеличению концентрации хрома (рисунок 17, Приложение А). Однако за 2023 г. концентрация хрома выросла незначительно. Диапазон колебаний концентрации хрома в 2023 г. (0,07-2,52 мкг/л) соответствовал среднемноголетним значениям (0,16-9,87 мкг/л). В дельте р. Волги в целом нехарактерно превышение ПДК хрома, и в 2023 г. содержание общего хрома было значительно ниже установленных нормативов. В 2023 г., как и в период 1978-2017 гг., увеличение концентрации хрома происходило в 1 квартале. В литературных источниках

отмечается снижение концентрации хрома в южном направлении, однако в 2023 г. наибольшие концентрации хрома зарегистрированы в средней зоне дельты на гидропостах Камызяк и Красный Яр.



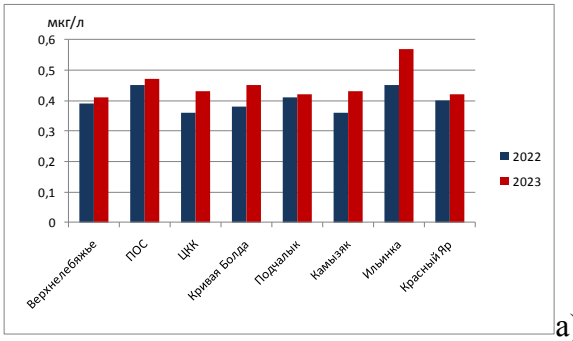
а)



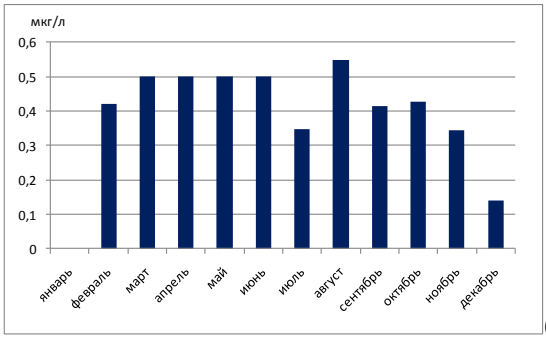
б)

Рисунок 17 – Хром в водотоках дельты р. Волги в 2022-2023 гг. (а)
и его сезонная динамика в 2023 г. (б)

Концентрация свинца в 2023 г. в водотоках дельты незначительно увеличилась по сравнению с 2022 г. (рисунок 18, Приложение А). Концентрация свинца в 2023 г. изменялась в пределах многолетней изменчивости (от 0,12 мкг/л до 0,7 мкг/л) и была значительно ниже ПДК (6 мкг/л). Максимум был зарегистрирован на гидропосту Ильинка в октябре. Из представленных на рисунке 18 диаграмм следует, что повышение концентрации свинца приурочено к периоду летне-осенней межени, что также соответствует многолетней тенденции 2001-2017 гг. [13].



а)

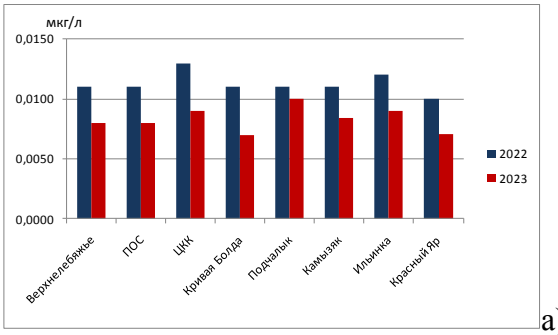


б)

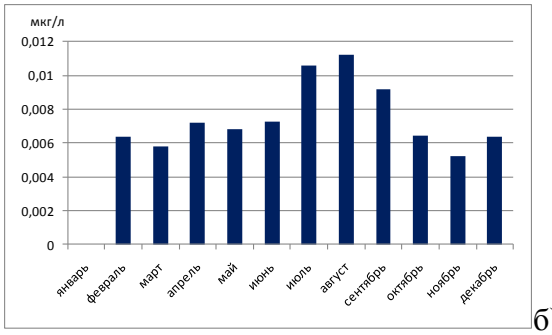
Рисунок 18 – Свинец в водотоках дельты р. Волги в 2022-2023 гг. (а)
и его сезонная динамика в 2023 г. (б)

Среднемноголетние (2001-2017 гг.) концентрации ртути повсеместно превышали ПДК, однако в последние два года (2022-2023 гг.) прослеживается тенденция к снижению концентрации этого металла в дельте (рисунок 19, Приложение А). Диапазон концентраций в 2023 г. оставался в рамках многолетней изменчивости и составил 0,004-0,015 мкг/л. Самые высокие среднегодовые концентрации регистрировались в протоке Кигач и в р. Волге у гидропоста Ильинка в период летне-осенней межени. Превышение

установленного норматива в 2023 г. было зарегистрировано только один раз в рукаве Камызяк в августе и составило 1,5 ПДК.



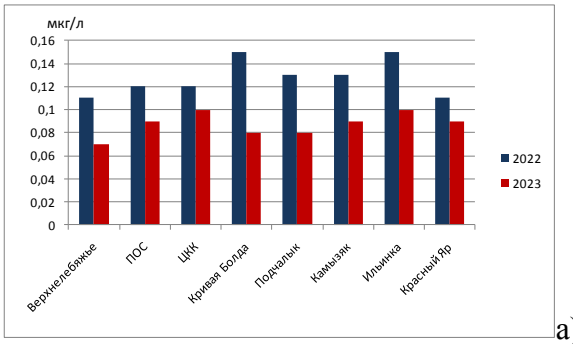
а)



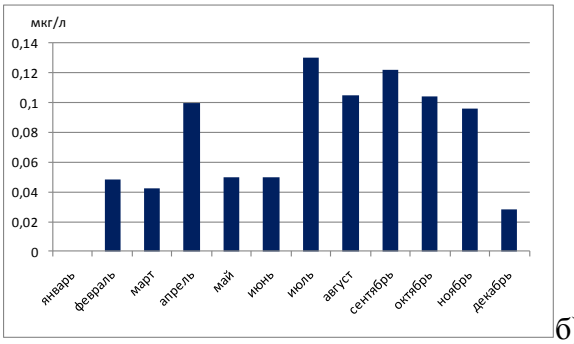
б)

Рисунок 19 – Ртуть в водотоках дельты р. Волги в 2022-2023 гг. (а) и ее сезонная динамика в 2023 г. (б)

Снижение уровня кадмия в 2023 г. по сравнению с 2022 г. регистрировалось на всех гидропостах (рисунок 20, Приложение А). Наиболее четко эта тенденция наблюдалась в верхней зоне западной части дельты на гидропосту Кривая Болда, где концентрация этого металла снизилась почти в 2 раза. Диапазон концентраций кадмия в 2023 г. составил 0,02-0,2 мкг/л, что соответствует многолетней изменчивости этого металла [13]. Среднегодовые величины концентрации Cd в водотоках дельты были значительно ниже ПДК. Самые высокие значения кадмия (до 0,2 мкг/л в июле) регистрировались на посту ПОС. Пространственное распределение Cd характеризовалось снижением содержания в южном направлении, наибольшие концентрации в период 2001-2017 гг. отмечались в вершине дельты, а в 2023 г. – в верхней зоне западной части дельты. Для сезонной динамики кадмия в 2023 г. было характерно повышение величин в летне-осеннюю межень.



а)

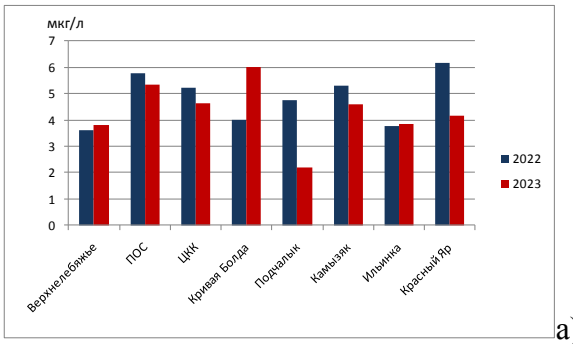


б)

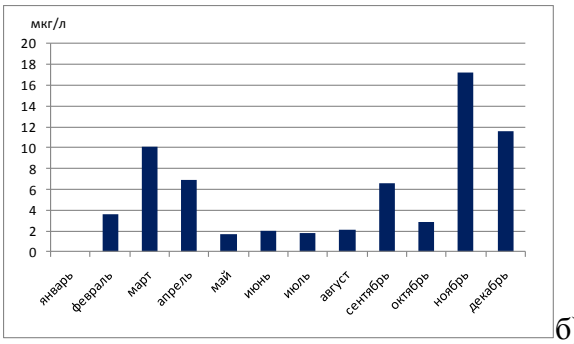
Рисунок 20 – Кадмий в водотоках дельты р. Волги в 2022-2023 гг. (а) и его сезонная динамика в 2023 г. (б)

Пространственное распределение марганца в 2023 г. в дельте р. Волги характеризовалось высокой неоднородностью. Незначительное увеличение Mn отмечается

в вершине дельты, в рукаве Кривая Болда и в р. Волге по данным гидропоста Ильинка. Средняя концентрация марганца в водотоках дельты в 2023 г. была значительно ниже ПДК (ПДК = 10 мкг/л). Диапазон значений марганца в водотоках составил 0,8-22,4 мкг/л. Сезонная динамика показала характерное для всех исследуемых водотоков увеличение концентрации в ноябре, при этом максимум достигал 2,2 ПДК на гидропосту ПОС (рисунок 21, Приложение А).



а)



б)

Рисунок 21 – Марганец в водотоках дельты р. Волги в 2022-2023 гг. (а) и его сезонная динамика в 2023 г. (б)

ХОП относятся к числу стойких органических загрязнителей, обладают выраженными токсическими свойствами даже при относительно низких концентрациях в воде (0,1 мкг/л) [13, 15].

В 2023 г. во всех отобранных пробах определялись концентрации ХОП (ДДТ, ДДЭ, α-ГХЦГ и γ-ГХЦГ). Результаты анализов выявили неоднородную динамику и неравномерное распределение этих ЗВ по водотокам дельты, однако повсеместно отмечено снижение концентрации ХОП по сравнению с 2022 г. (рисунок 22, Приложение А).

ДДТ в дельте р. Волги в 2023 г. регистрировался только в период летне-осенней межени, средняя концентрация в водотоках не превышала 0,001 мкг/л, при этом наибольшие концентрации наблюдались в вершине дельты и в западной части верхней зоны на гидропосту ЦКК, где максимум достигал 0,004 мкг/л. Превышений установленного норматива (0,01 мкг/л) не выявлено. ДДЭ также регистрировался только в период летне-осенней межени в верхней зоне дельты на гидропосту ЦКК и в средней зоне на постах Камызяк и Красный Яр, где был отмечен максимум концентрации – 0,002 мкг/л. Превышений ПДК не зафиксировано. Пестициды группы ГХЦГ в дельте в 2023 г. были выявлены только в средней зоне на гидрологических постах Камызяк и Красный Яр, следовые концентрации этих элементов наблюдались только в период летне-осенней межени. Такое хаотичное распределение и ярко выраженная сезонная динамика может

свидетельствовать об антропогенном поступлении данных ЗВ.

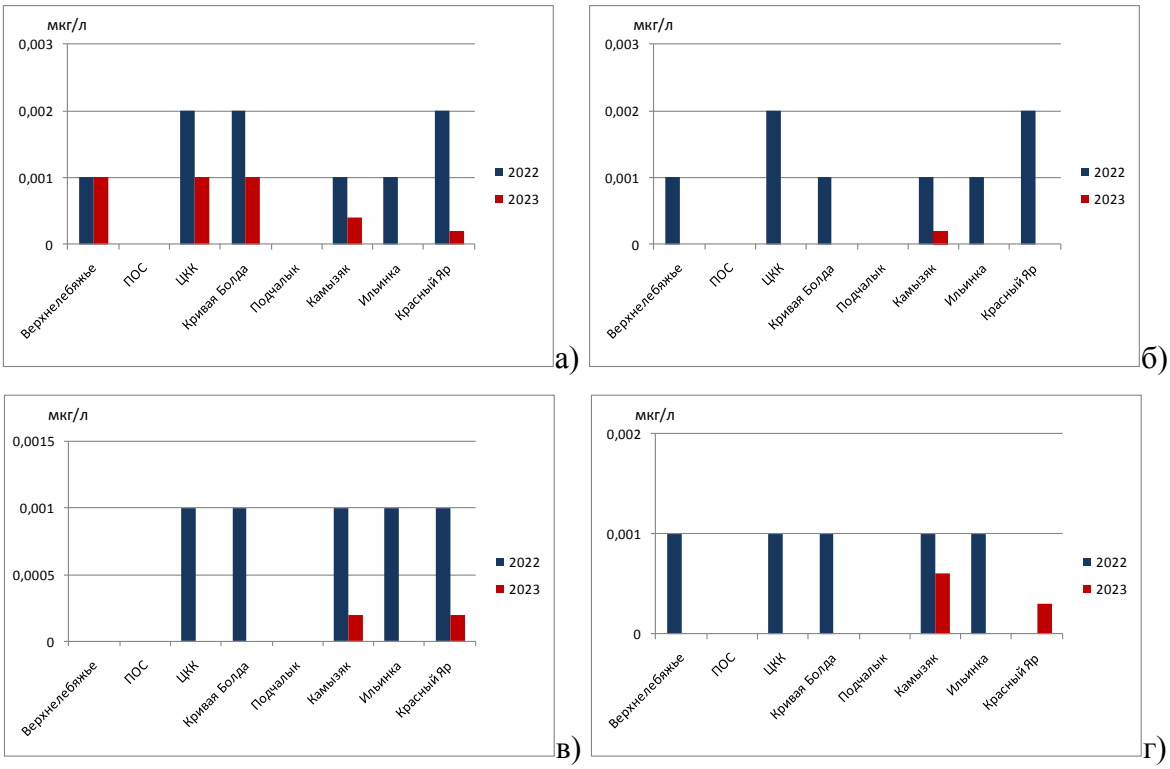
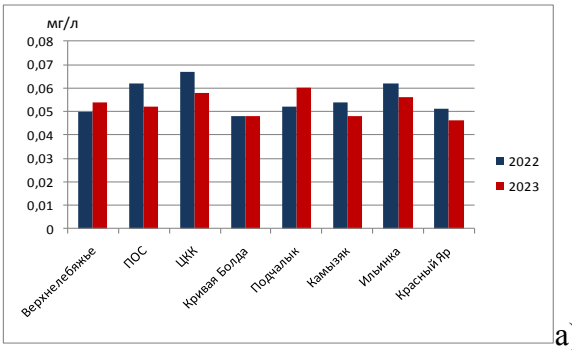



Рисунок 22 – Содержание пестицидов в водотоках дельты р. Волги в 2022-2023 гг. (а – ДДТ, б – ДДЭ, в – α-ГХЦГ, г – γ-ГХЦГ)

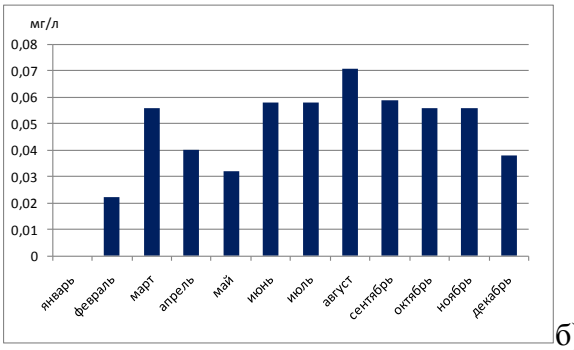
Многолетние наблюдения за содержанием НУ в дельте р. Волги проводятся с 1979 г. Исследования показывают, что в целом от вершины дельты к ее верхней зоне наблюдается снижение среднемноголетней концентрации НУ, при этом наименьшие концентрации характерны для восточной части дельты, а в воде средней зоны концентрация вновь повышается. Многолетние исследования определяют уровень концентрации НУ в воде дельты в 0,10 мг/л (2 ПДК) как фоновый. Фоновый уровень в дельте является достаточно высоким, многолетний диапазон колебаний концентрации НУ в водах дельты на замыкающем створе изменяется от аналитического нуля до 3,7 мг/л, а характерной чертой сезонной изменчивости концентрации НУ в водах дельты является ее повышение в летнюю межень.

Наблюдения за загрязнением дельты Волги НУ в 2023 г. показали неоднородную динамику. В вершине дельты значение среднегодовой концентрации НУ по сравнению с 2022 г. возросло в 1,1 раза; в западной части дельты, как в верхней, так и в средней зоне, наблюдалось незначительное снижение содержания НУ. Однако, вопреки многолетней тенденции, самое высокое среднегодовое значение в 2023 г. наблюдалось в протоке Кигач (гидропост Подчалык) (рисунок 23). Диапазон колебаний концентрации НУ в 2023 г.

составил 0,02-0,1 мг/л, что соответствует многолетней изменчивости. Сезонная динамика НУ в 2023 г. не отличалась от многолетней, повышение среднего по дельте содержания НУ до 0,06 мг/л произошло в третьем квартале. Средняя концентрация НУ в дельте соответствовала ПДК (0,05 мг/л), максимальное значение составило 2 ПДК (ЦКК).



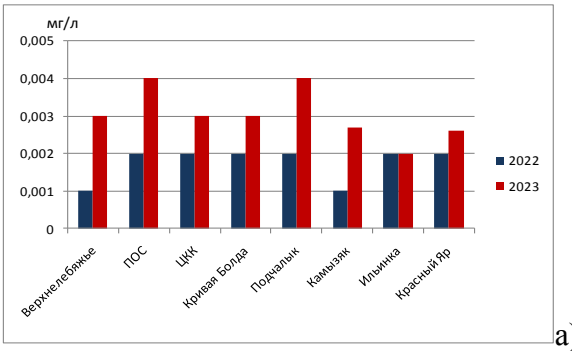
а)



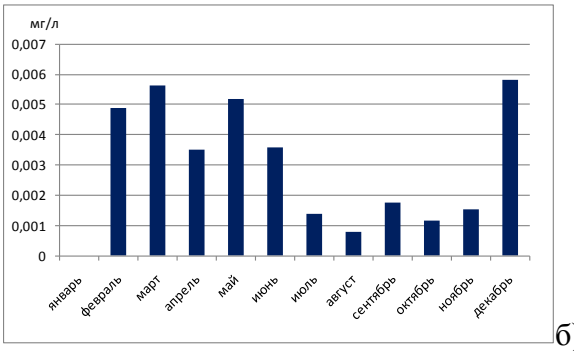
б)

Рисунок 23 – НУ в водотоках дельты р. Волги в 2022-2023 гг. (а)
и их сезонная динамика в 2023 г. (б)

К наблюдаемым за многолетний период (1978-2017 гг.) особенностям поведения фенолов в дельте р. Волги можно отнести слабую пространственную изменчивость, повышение концентрации весной и летом, а также широкий диапазон среднегодовых величин концентрации в исследуемых водотоках – от 0,0004 мг/л до 0,012 мг/л (12 ПДК). Концентрация фенолов в 2023 г. по сравнению с 2022 годом значительно выросла (рисунок 24), диапазон колебаний составил 0,0003-0,009 мг/л (9 ПДК). В вершине дельты концентрация фенолов увеличилась в 3 раза относительно прошлого года и составила 3 ПДК, в верхней зоне дельты значения фенолов достигали 4 ПДК (гидропосты ПОС, Подчалык), в средней зоне концентрация фенолов составила 2 ПДК (гидропост Ильинка). Повышение среднего значения уровня фенолов в дельте до 5-6 ПДК, как и в прошлом году, регистрировалось в зимний период.



а)

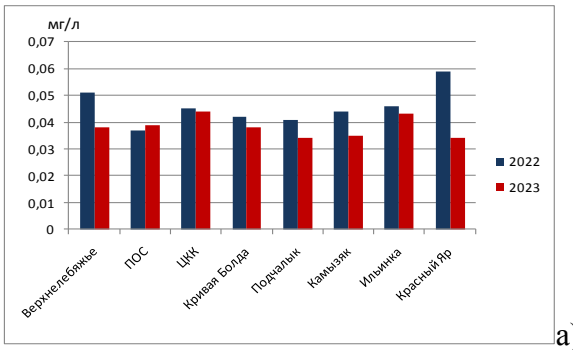


б)

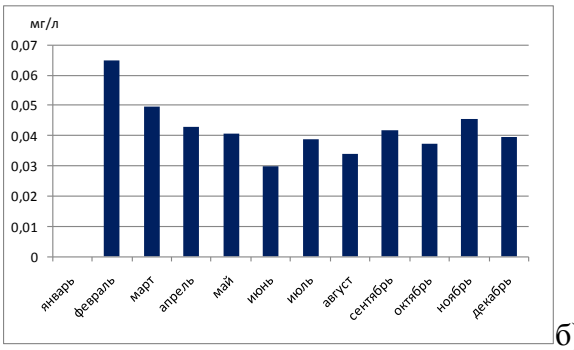
Рисунок 24 – Фенолы в водотоках дельты р. Волги в 2022-2023 гг. (а)
и их сезонная динамика в 2023 г. (б)

Из литературных источников следует, что средняя многолетняя (1978-2017 гг.)

концентрация АПАВ в вершине дельты составляла 0,043 мг/л (при ПДК 0,5 мг/л), в водотоках дельты она снижалась в южном направлении. В ранних исследованиях был определен фоновый уровень АПАВ, характерный для большей площади акватории дельты и равный 0,03 мг/л, что значительно ниже ПДК (0,5 мг/л). Пространственная изменчивость АПАВ была выражена слабо, а особенностью сезонной динамики в период 1978-2017 гг. было снижение концентрации в зимнюю межень. Анализ значений концентрации АПАВ в 2023 г. показал неоднородную динамику (рисунок 25). Вопреки сложившейся многолетней тенденции, в 2023 г. отмечается сезонное повышение концентрации в феврале. Диапазон значений концентрации АПАВ за последний год составил 0,013-0,11 мг/л. При этом самые высокие значения регистрировались на посту Красный Яр (0,084 мг/л) и Кривая Болда (0,11 мг/л).



а)



б)

Рисунок 25 – АПАВ в водотоках дельты р. Волги в 2022-2023 гг. (а) и их сезонная динамика в 2023 г. (б)

Для условной оценки загрязняющего эффекта, обусловленного одновременным присутствием ряда загрязняющих веществ, используется комплексный показатель степени загрязненности поверхностных вод «удельный комбинаторный индекс загрязненности вод» (УКИЗВ) [2].

Для расчета УКИЗВ в 2023 г. использовались следующие гидрохимические параметры:

- растворенный кислород;
- взвешенные вещества;
- ХПК;
- медь;
- цинк;
- фенолы.

Динамика УКИЗВ в 2023 г. прервала наметившуюся в 2020 г. тенденцию к

снижению антропогенной нагрузки во всех водотоках дельты. Произошло это в результате увеличения концентрации фенолов. Несмотря на то, что основная масса ЗВ проходит с транзитным стоком по западной части дельты, самое высокое значение индекса УКИЗВ в 2023 г. было зарегистрировано в восточной части дельты (рисунок 26, Приложение А).

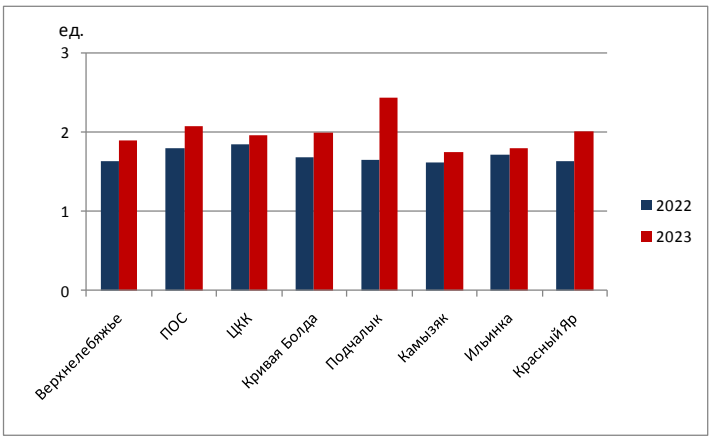



Рисунок 26 – УКИЗВ водотоков дельты р. Волги в 2022-2023 гг.

Наиболее высокие значения индекса в 2023 г. зафиксированы в верхней зоне восточной части дельты (гидропост Подчалык) как в наиболее загрязненном районе. Воды водотоков западной части дельты, а также средней зоны восточной части в 2023 г. относились ко второму классу «слабо загрязненных» вод, а акватория верхней зоны восточной части дельты – к третьему классу «загрязненных» вод [2].

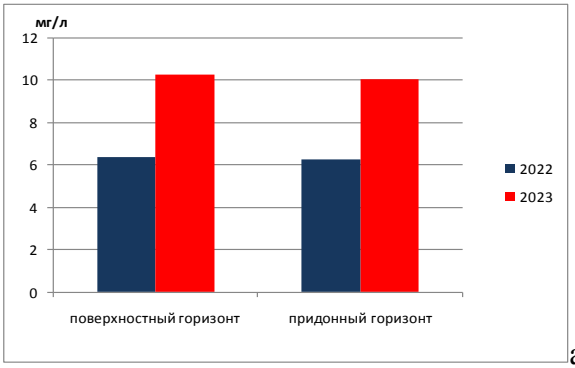
## 5 СОСТОЯНИЕ И ЗАГРЯЗНЕНИЕ КАСПИЙСКОГО МОРЯ В 2023 Г.

Оценка состояния и загрязнения акватории Каспийского моря в 2023 г. проводилась по результатам государственного мониторинга окружающей среды. Наблюдениями были охвачены районы вековых океанографических разрезов государственной сети наблюдений ГСН III, IIIа и ГСН IV, станции которой расположены в районе условной границы между Северным Каспием и Средним Каспием; а также район акватории Среднего Каспия, прилегающий к западному побережью Дагестана.

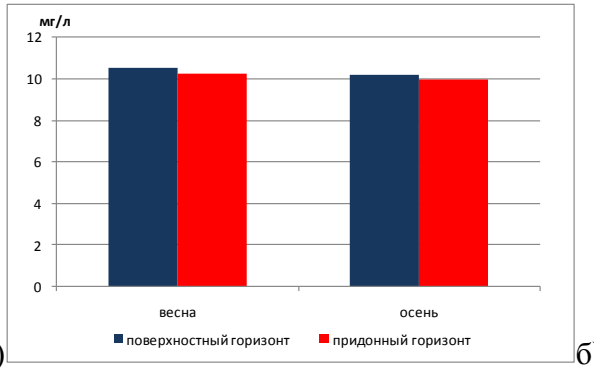
*ГСН III.* Содержание растворенного кислорода в воде Северного Каспия в районе векового разреза ГСН III изменялось от 8,59 мг/л в придонном горизонте до 10,96 мг/л в поверхностном. Изменчивость концентрации $O_2$ в 2023 г. была очень низкой, среднеквадратическое отклонение от среднего у поверхности и у дна составило соответственно 4,8-5,6% (таблица 2). В среднем уровень кислорода по сравнению с предыдущим годом значительно возрос, а сезонные колебания в 2023 г. были слабыми (рисунок 27). Нарушений предельно допустимого уровня кислорода (6,0 мг/л) в 2023 г. не выявлено.

Таблица 2 – Содержание загрязняющих веществ на акватории векового океанографического разреза ГСН III в 2023 г.

| Параметр | Горизонт | Ср. знач. | Минимум | Максимум | Cv, % |
|---|---|---|---|---|---|
| $O_2$, мг/л | поверхностный | 10,27 | 8,87 | 10,96 | 4,8 |
| | придонный | 10,02 | 8,59 | 10,95 | 5,6 |
| pH, ед. pH | поверхностный | 8,28 | 7,94 | 8,48 | 1,9 |
| | придонный | 8,31 | 8,02 | 8,90 | 2,7 |
| Аммонийный азот, мкг/л | поверхностный | 45,92 | 28,0 | 76,0 | 31,7 |
| | придонный | 44,67 | 13,0 | 93,0 | 54,0 |
| Нитритный азот, мкг/л | поверхностный | 40,0 | 20,0 | 70,0 | 36,7 |
| | придонный | 50,0 | 0 | 120,0 | 69,8 |
| Нитратный азот, мкг/л | поверхностный | 40,0 | 20,0 | 60,0 | 28,4 |
| | придонный | 50,0 | 20,0 | 110 | 47,4 |
| Кремний, мкг/л | поверхностный | 56,23 | 37,0 | 78,00 | 26,1 |
| | придонный | 60,67 | 39,0 | 77,00 | 22,9 |
| Минеральный фосфор, мкг/л | поверхностный | 20,0 | 10,0 | 40,0 | 43,8 |
| | придонный | 20,0 | 10,0 | 40,0 | 59,2 |
| НУ, мг/л | поверхностный | 0,037 | 0,025 | 0,057 | 23,0 |
| | придонный | 0,036 | 0,029 | 0,044 | 13,6 |
| СПАВ, мг/л | поверхностный | 0,06 | 0,02 | 0,13 | 48,1 |
| | придонный | 0,07 | 0,04 | 0,11 | 36,6 |



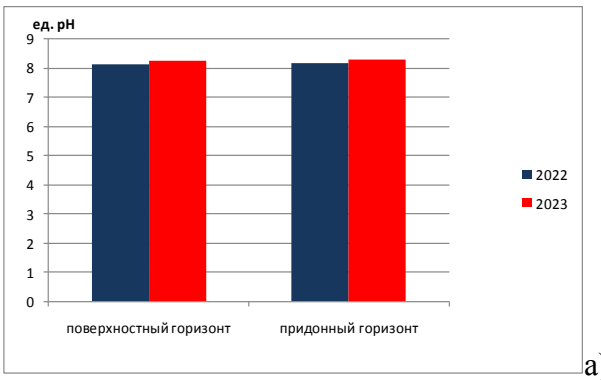
а)



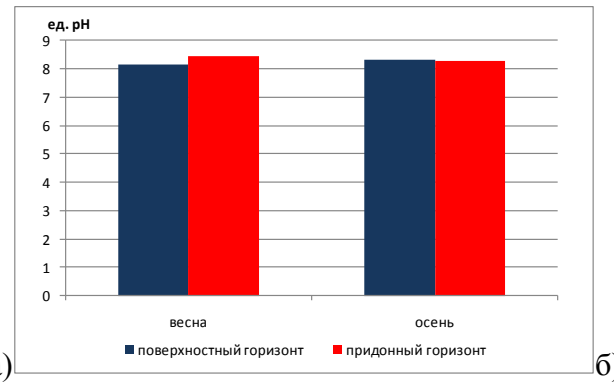
б)

Рисунок 27 – Содержание растворенного кислорода на акватории векового океанографического разреза ГСН III (а – годовая динамика, б – сезонная динамика)

Водородный показатель за исследуемый период практически не изменился. pH в районе ГСН III изменялся в узком диапазоне 7,94-8,90 ед. pH, что соответствует многолетней изменчивости данного показателя. Годовая и сезонная изменчивость pH в 2023 г. оценивалась как «очень низкая» (таблица 2, рисунок 28).



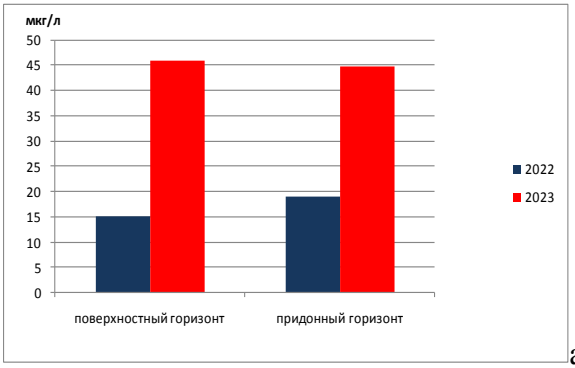
а)



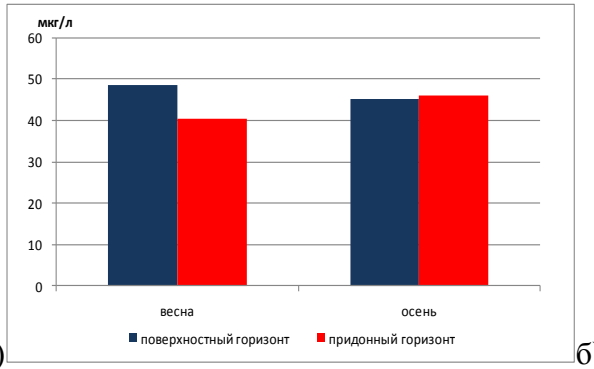
б)

Рисунок 28 – Водородный показатель на акватории векового океанографического разреза ГСН III (а – годовая динамика, б – сезонная динамика)

Соотношение биогенных элементов характеризует биологическую продуктивность моря. В 2023 г. в районе векового разреза ГСН III концентрация аммонийного азота по сравнению с 2022 г. увеличилась в среднем более чем в 2 раза (рисунок 29). Сезонная динамика средних по разрезу показателей была незначительной, значения $NH_4$ колебались от 13,0 мкг/л до 93,0 мкг/л (таблица 2, рисунок 29), а среднеквадратическое отклонение от среднего составило 31,7 % у поверхности и 54,0 % у дна, что характеризует изменчивость концентрации $NH_4$ как «низкую» и «среднюю» соответственно.



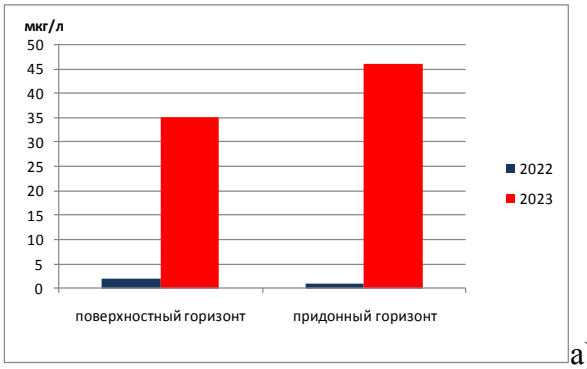
а)



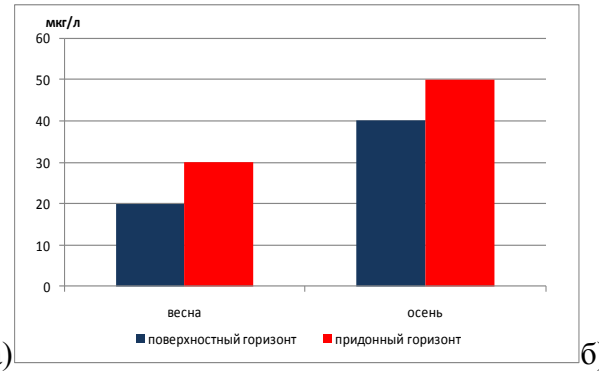
б)

Рисунок 29 – Содержание аммонийного азота на акватории векового океанографического разреза ГСН III (а – годовая динамика, б – сезонная динамика)

Содержание нитритного азота в 2023 г. возросло по сравнению с 2022 г. В поверхностном горизонте его концентрация выросла в 18 раз, а в придонном – в 46 раз. Сезонная динамика $NO_2$ показала увеличение концентрации почти в два раза к концу года (рисунок 30). Концентрация нитритов колебалась от аналитического ноля до 120 мкг/л, изменчивость нитритов в 2023 г. оценивалась как «средняя» (таблица 2).



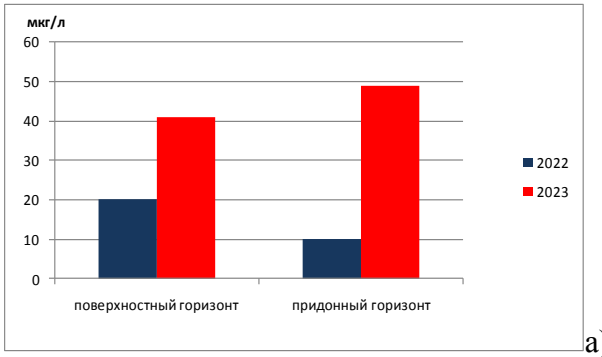
а)



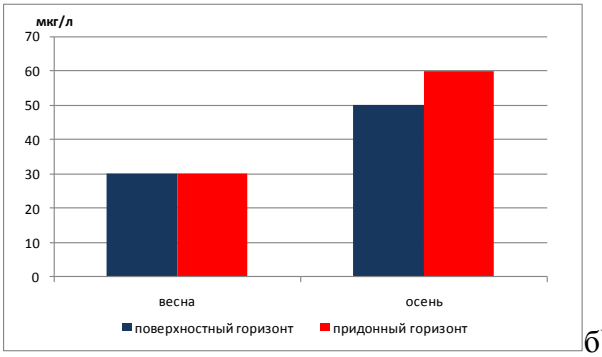
б)

Рисунок 30 – Содержание нитритного азота на акватории векового океанографического разреза ГСН III (а – годовая динамика, б – сезонная динамика)

Средняя концентрация нитратного азота в 2023 г. составила 40 мкг/л в поверхностном горизонте и 50 мкг/л в придонном горизонте, что в 2 и 5 раз больше соответствующих показателей в 2022 г. Кроме того, в 2023 г. средняя концентрация $NO_3$ в придонном горизонте превысила ПДК в 1,2 раза, а максимальная составила 2,8 ПДК. Отмечено, что в меженный период концентрация нитратов на акватории района увеличивается (таблица 2, рисунок 31).



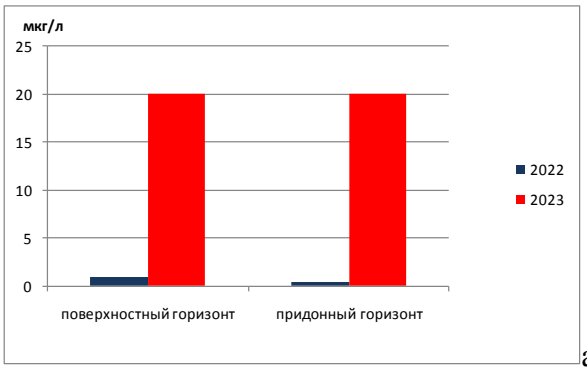
а)



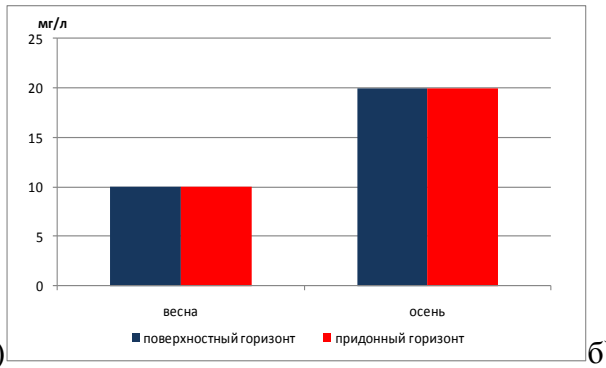
б)

Рисунок 31 – Содержание нитратного азота на акватории векового океанографического разреза ГСН III (а – годовая динамика, б – сезонная динамика)

В 2023 г. в районе векового разреза ГСН III отмечено резкое увеличение содержания минерального фосфора (таблица 2, рисунок 32). Средняя концентрация в поверхностном горизонте выросла в 19 раз, а в придонном горизонте содержание фосфатов увеличилось с 0,4 мкг/л в 2022 г. до 20 мкг/л в 2023 г. (в 50 раз). Экстремальные концентрации в 2023 г. колебались в диапазоне 10-40 мкг/л, изменчивость концентраций минерального фосфора была средней. Уровень $PO_4$, также как и соединений азота, увеличивался в осенний период.



а)

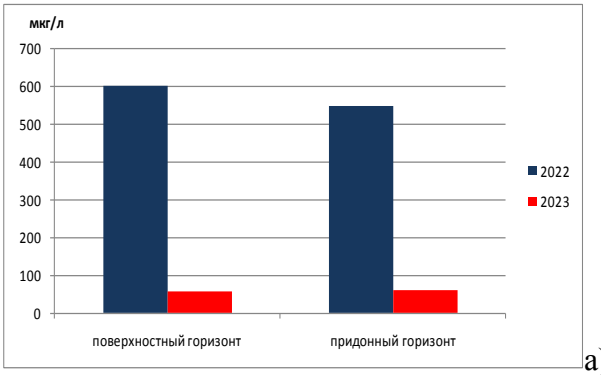


б)

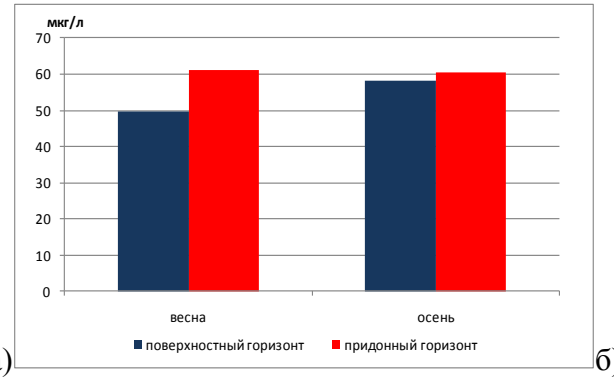
Рисунок 32 – Содержание минерального фосфора на акватории векового океанографического разреза ГСН III (а – годовая динамика, б – сезонная динамика)

Таким образом, в 2023 г. наблюдалось возрастание концентрации всех исследуемых БВ.

В 2023 г., как и в 2022 г., наблюдается тенденция к снижению минерального кремния. Содержание этого элемента в поверхностном горизонте составило 56,23 мкг/л, а в придонном – 60,67 мкг/л, что, соответственно, в 11 и 9 раз меньше, чем в 2022 г. Распределение концентрации в толще воды носило достаточно равномерный характер (таблица 2, рисунок 33).



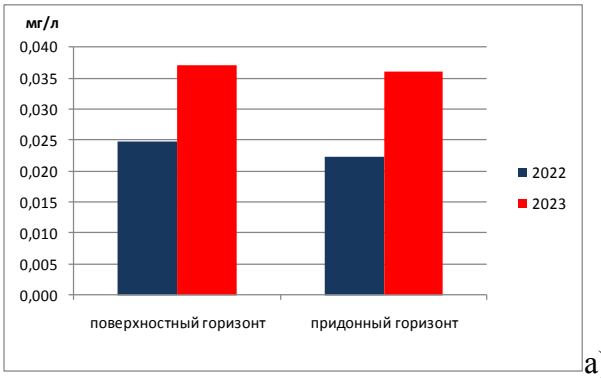
а)



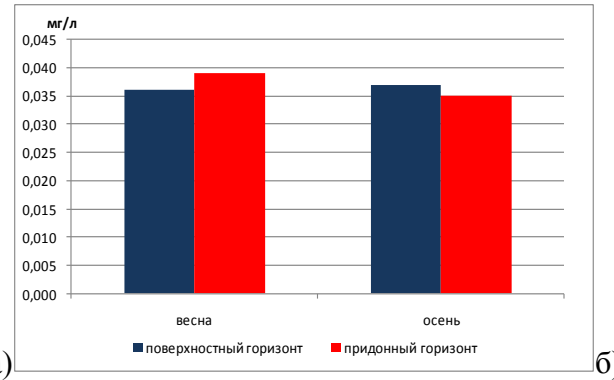
б)

Рисунок 33 – Содержание кремния на акватории векового океанографического разреза ГСН III (а – годовая динамика, б – сезонная динамика)

Относительно прошлого года содержание НУ в районе ГСН III в 2023 г. незначительно увеличилось. Средние значения НУ в 2023 г. в поверхностном и придонном горизонте не превышали 0,037 мг/л (таблица 2, рисунок 34). Максимальная концентрация в 2023 г. была равна 0,057 мг/л, что составило 1,14 ПДК. Сезонная динамика характеризовалась низкой изменчивостью.



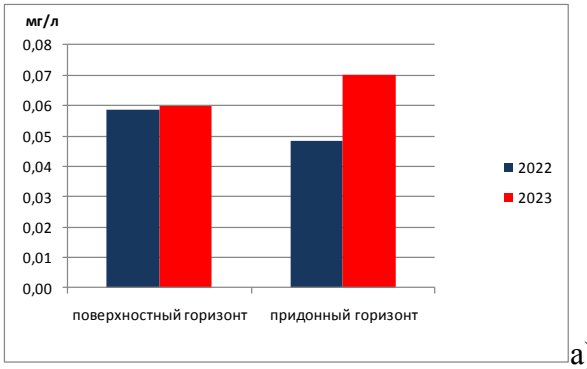
а)

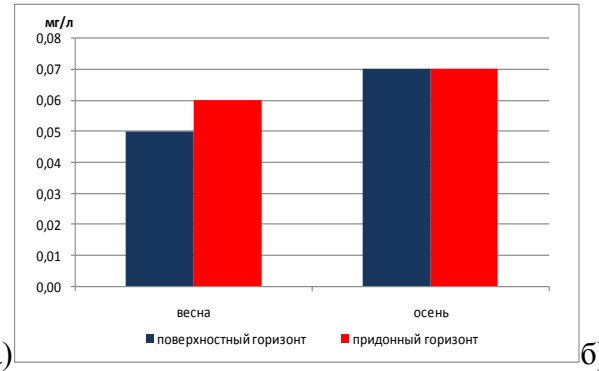


б)

Рисунок 34 – Содержание НУ на акватории векового океанографического разреза ГСН III (а – годовая динамика, б – сезонная динамика)

Уровень СПАВ в 2023 г. относительно предыдущего периода изменился незначительно. Средняя концентрация в отчетном году составила в поверхностном и придонном горизонте соответственно 0,06 и 0,07 мг/л, максимальная концентрация была отмечена в поверхностном горизонте и составила 0,13 мг/л (1,3 ПДК) (таблица 2, рисунок 35).



а)


б)

Рисунок 35 – Содержание СПАВ на акватории векового океанографического разреза ГСН III (а – годовая динамика, б – сезонная динамика)

Оценка состояния и загрязнения морской среды проводилась с использованием индекса загрязненности вод (ИЗВ) [1]. Расчет индекса загрязненности в 2023 г. в районе ГСН III проводился с использованием следующих гидрохимических показателей: растворенный кислород, нитратный азот, НУ и СПАВ. Результаты показали, что воды поверхностного слоя в районе ГСН III относятся ко II классу качества вод «чистые», а придонного – к классу «умеренно-загрязненные» (III класс качества вод) (таблица 3).

Таблица 3 – Индекс загрязненности вод Северного Каспия в 2022-2023 гг.

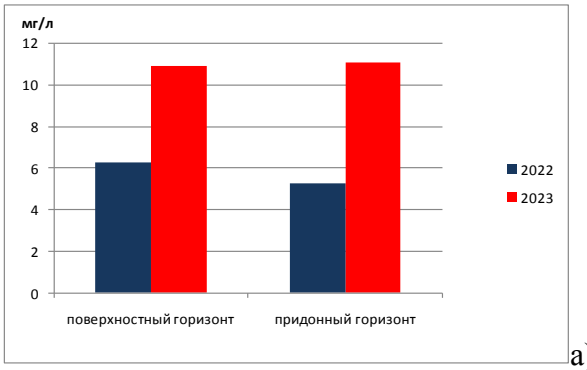
| Разрез | Горизонт | 2022 г. | 2023 г. |
|---|---|---|---|
| ГСН III | поверхностный | 0,7 «чистые» (II класс) | 0,7 «чистые» (II класс) |
| | придонный | 0,6 «чистые» (II класс) | 0,8 «умеренно загрязненные» (III класс) |

*ГСН IIIа.* Результаты анализа значений гидрохимических параметров, полученных в результате количественного химического анализа (КХА) проб морской воды Северного Каспия, отобранных в районе ГСН IIIа представлены в таблице 4.

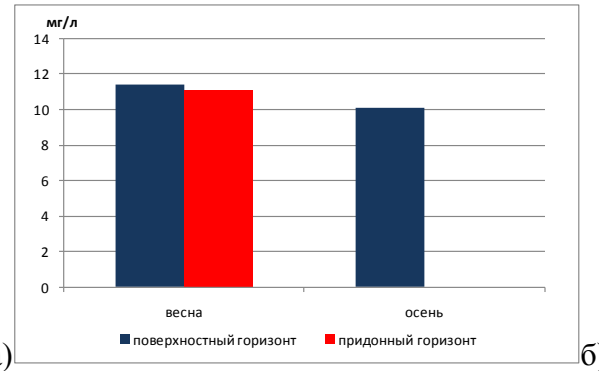
Концентрация растворенного кислорода в исследуемом районе имела очень низкую изменчивость (стандартное отклонение от среднего достигало 7,2 %) и не опускалась ниже допустимого уровня (6,0 мг$O_2$/л) (таблица 4, рисунок 36). Содержание $O_2$ в районе ГСН IIIа в 2023 г. значительно увеличилось по сравнению с 2022 г.

Таблица 4 – Содержание загрязняющих веществ на акватории векового океанографического разреза ГСН IIIа в 2023 г.

| Параметр | Горизонт | Ср. знач. | Минимум | Максимум | Cv, % |
|---|---|---|---|---|---|
| $O_2$,мг/л | поверхностный | 10,91 | 10,10 | 11,69 | 7,15 |
| | придонный | 11,07 | 10,37 | 11,43 | 5,44 |
| pH, ед. pH | поверхностный | 8,55 | 8,30 | 8,90 | 3,41 |
| | придонный | 8,74 | 8,38 | 8,99 | 3,67 |
| Аммонийный азот, мкг/л | поверхностный | 37,60 | 20,00 | 50,00 | 28,99 |
| | придонный | 30,33 | 10,00 | 57,00 | 79,55 |
| Нитритный азот, мг/л | поверхностный | 0,04 | 0,02 | 0,05 | 37,36 |
| | придонный | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 14,19 |
| Нитратный азот, мг/л | поверхностный | 0,04 | 0,02 | 0,06 | 46,85 |
| | придонный | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 2,09 |
| Кремний, мкг/л | поверхностный | 71,20 | 64,00 | 78,00 | 7,05 |
| | придонный | 75,67 | 71,00 | 79,00 | 5,50 |
| Минеральный фосфор, мкг/л | поверхностный | 20,0 | 10,0 | 40,0 | 62,38 |
| | придонный | 10,0 | 10,0 | 20,0 | 26,06 |
| НУ, мг/л | поверхностный | 0,036 | 0,026 | 0,050 | 28,02 |
| | придонный | 0,032 | 0,030 | 0,034 | 5,44 |
| СПАВ, мг/л | поверхностный | 0,06 | 0,03 | 0,10 | 42,04 |
| | придонный | 0,05 | 0,04 | 0,07 | 24,51 |



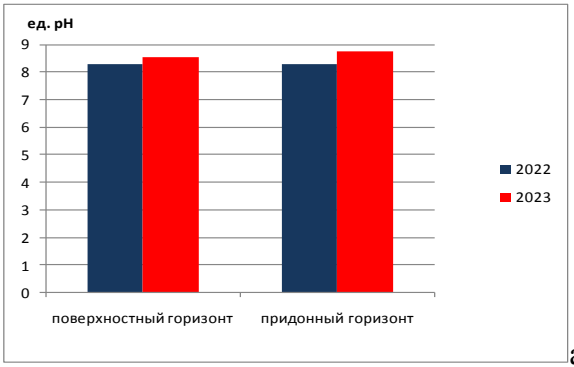
а)



б)

Рисунок 36 – Содержание растворенного кислорода на акватории векового океанографического разреза ГСН IIIа (а – годовая динамика, б – сезонная динамика)

Водородный показатель исследуемой акватории был достаточно стабилен, узкий диапазон изменений концентрации (8,30-8,99 ед. pH) иона водорода говорит об очень низкой изменчивости за весь период исследований (таблица 4, рисунок 37).



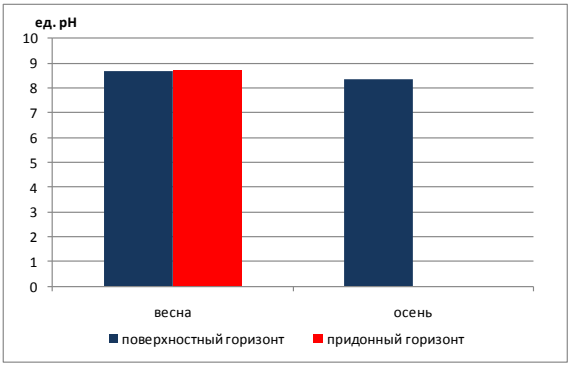
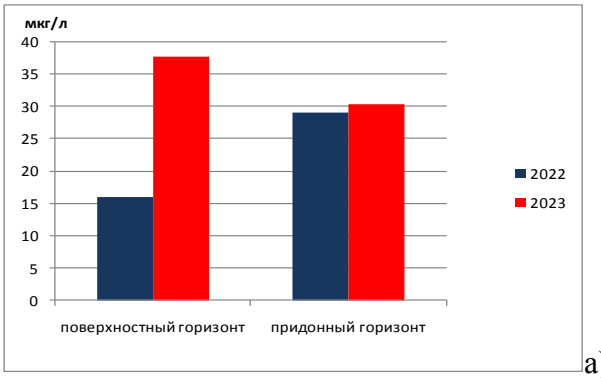
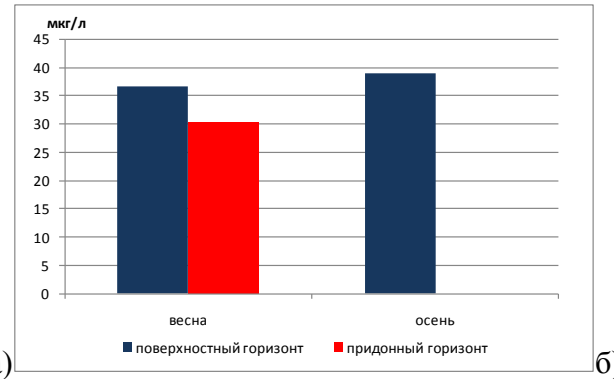
а)



Рисунок 37 – Водородный показатель на акватории векового океанографического разреза ГСН IIIа (а – годовая динамика, б – сезонная динамика)

В 2023 г. увеличилась концентрация аммонийного азота (таблица 4, рисунок 38). В поверхностном слое количество $NH_4$ увеличилось в 2,4 раза, в придонном слое изменения были незначительны. Содержание аммонийного азота в 2023 г. изменялось от 10,0 мкг/л до 57,0 мкг/л, экстремальные значения регистрировались в придонном горизонте. Изменчивость концентрации в поверхностном горизонте согласно стандартному отклонению была низкой, а в придонном горизонте, достигая 79,55%, оценивалась как средняя.

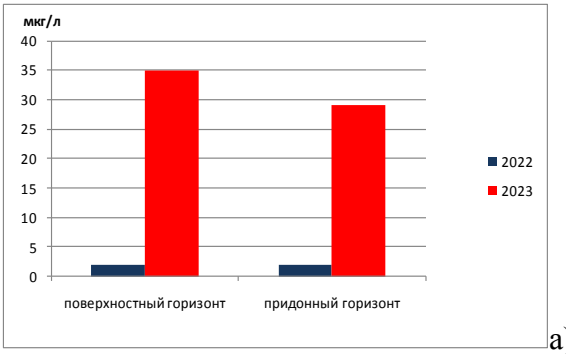


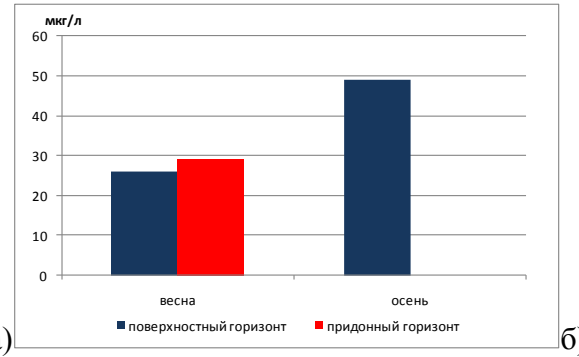
а)


б)

Рисунок 38 – Содержание аммонийного азота на акватории векового океанографического разреза ГСН IIIа (а – годовая динамика, б – сезонная динамика)

Средние значения $NO_2$ в отчетном году были значительно выше, чем в 2022 г., в поверхностном горизонте концентрация нитрит-иона выросла в 17,5 раза, а в придонном – в 14,5 раза. Значительных сезонных флуктуаций в динамике концентрации нитритов не отмечалось. Превышений ПДК в 2023 г. не регистрировалось (таблица 4, рисунок 39).

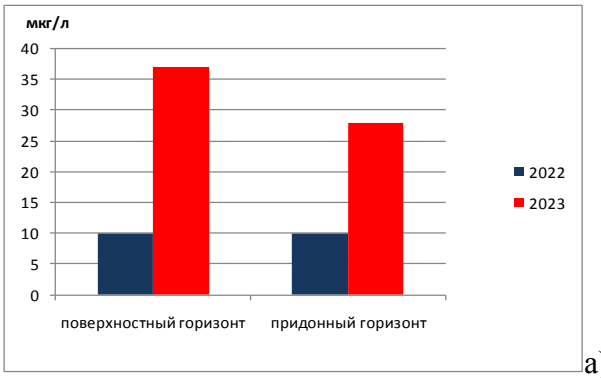


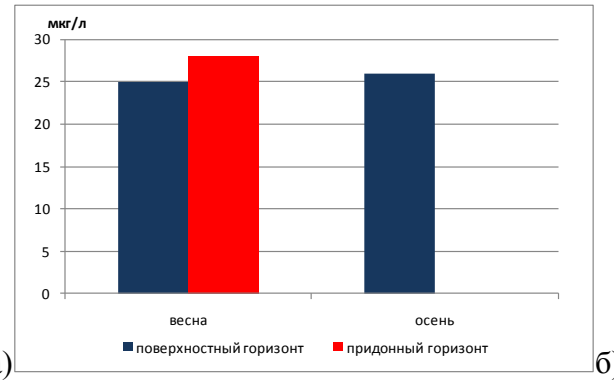
а)


б)

Рисунок 39 – Содержание нитритного азота на акватории векового океанографического разреза ГСН IIIа (а – годовая динамика, б – сезонная динамика)

Концентрация нитратного азота в 2023 г. также имела тенденцию к увеличению, в толще воды в районе ГСН IIIа относительно прошлого года количество $NO_3$ выросло в среднем в 3,3 раза. Экстремальные значения в 2023 г. составили диапазон 20-60 мкг/л, изменчивость нитрат-ионов в целом оценивается как низкая (таблица 4, рисунок 40).

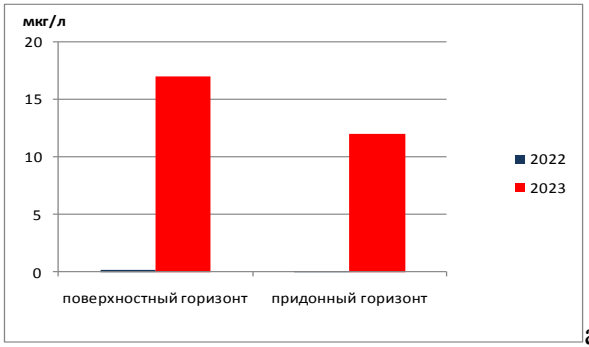


а)


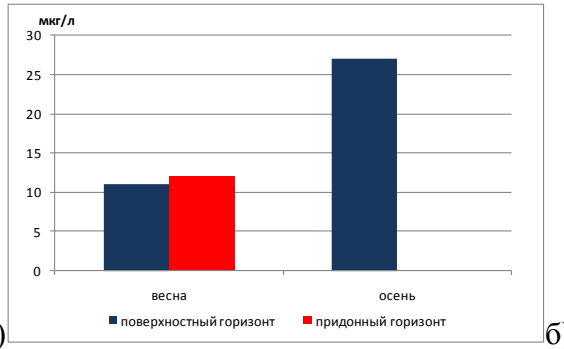
б)

Рисунок 40 – Содержание нитратного азота на акватории векового океанографического разреза ГСН IIIа (а – годовая динамика, б – сезонная динамика)

В 2023 г. в районе векового разреза ГСН IIIа отмечено резкое увеличение содержания минерального фосфора (таблица 4, рисунок 41). Средние концентрации $PO_4$ за 2023 г. увеличились в поверхностном горизонте в 85 раз, а в придонном – в 120 раз. Диапазон значений концентрации в 2023 г. колебался от 10 мкг/л до 40 мкг/л, колебания концентрации характеризовались: в поверхностном горизонте средней изменчивостью, а в придонном – низкой изменчивостью.



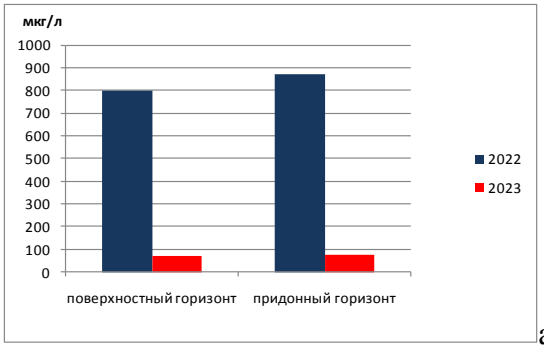
а)



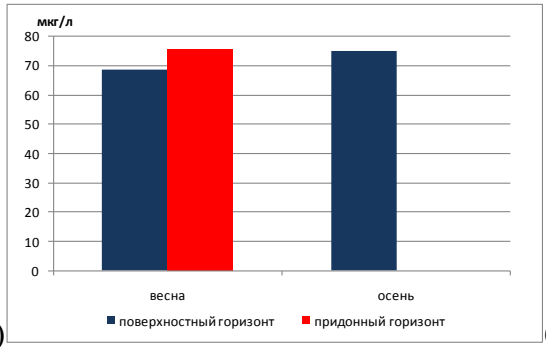
б)

Рисунок 41 – Содержание минерального фосфора на акватории векового океанографического разреза ГСН IIIа (а – годовая динамика, б – сезонная динамика)

Динамика концентрации кремния в 2023 г. носила иной характер. У поверхности и у дна количество кремния значительно снизилось, в среднем в 11,5 раза. Максимальное значение содержания кремния в воде в 2023 г. достигало 79,0 мкг/л в придонном горизонте, показатель изменчивость (Cv) был очень низким (таблица 4, рисунок 42).



а)



б)

Рисунок 42 – Содержание кремния на акватории векового океанографического разреза ГСН IIIа (а – годовая динамика, б – сезонная динамика)

Динамика концентрации НУ в районе ГСН IIIа отличалась от таковой в районе ГСН III. НУ распределялись по акватории Северного Каспия в районе ГСН IIIа равномерно в течение всего периода наблюдений. Средние значения НУ в 2023 г. составили в поверхностном и придонном горизонте соответственно 0,036 и 0,032 мг/л. Максимальная концентрация в 2023 г. составила 0,05 мг/л. Превышений ПДК НУ в отчетном году зарегистрировано не было (таблица 4, рисунок 43).

Незначительные изменения регистрировались и в динамике содержания СПАВ на акватории в районе ГСН IIIа, увеличение концентрации отмечено только в поверхностном горизонте, при этом следует обратить внимание на характерное увеличение концентрации этого ЗВ в период весеннего половодья. Концентрация СПАВ колебалась в диапазоне 0,03-0,1 мг/л, превышений ПДК не регистрировалось (таблица 4, рисунок 43).

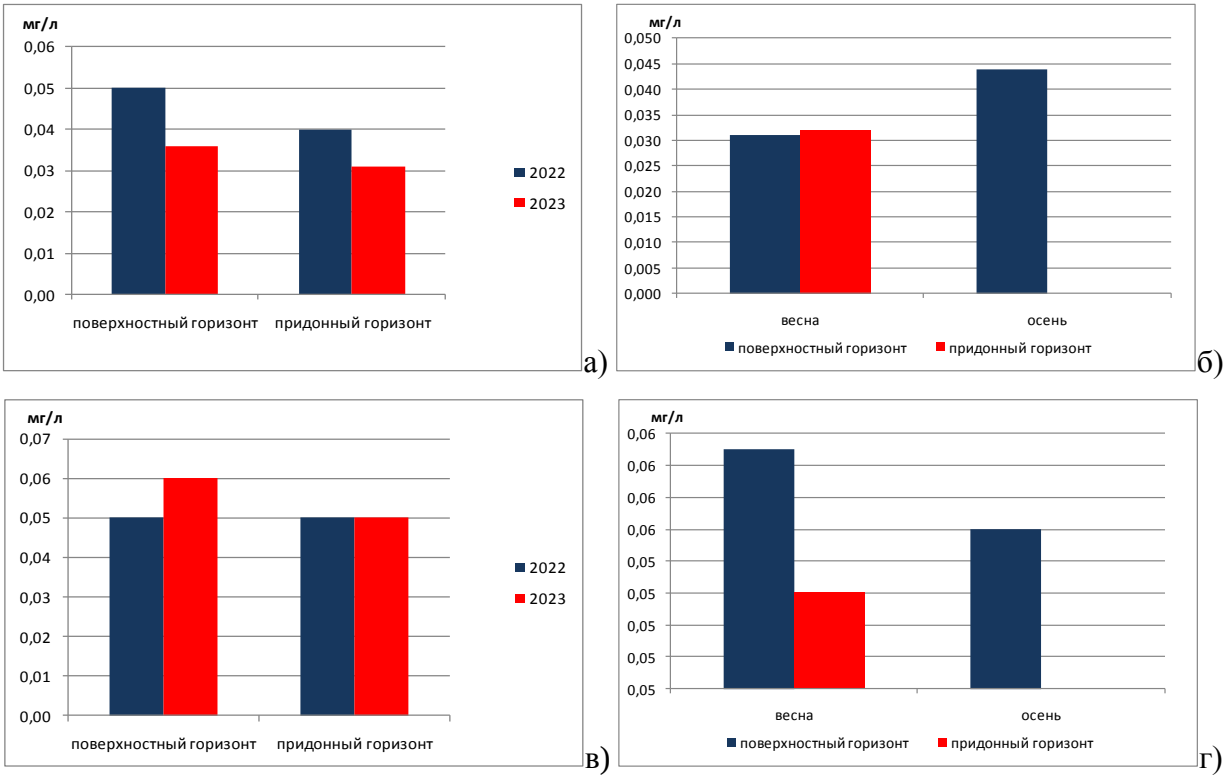



Рисунок 43 – Содержание НУ и СПАВ на акватории векового океанографического разреза ГСН IIIа (а – годовая динамика НУ, б – сезонная динамика НУ, в – годовая динамика СПАВ, г – сезонная динамика СПАВ)

Оценка ИЗВ в 2023 г. в данном районе проводилась с использованием: растворенного кислорода, нитратного азота, НУ и СПАВ. Результаты показали, что относительно прошлого года качество вод в поверхностном горизонте несколько улучшилось. Воды поверхностного слоя в районе ГСН IIIа оцениваются как «чистые» (II класс), а придонного относятся к классу «умеренно-загрязненные» (III класс качества вод) (таблица 5).

Таблица 5 – Индекс загрязненности вод Северного Каспия в 2022-2023 гг.

| Разрез | Горизонт | 2022 г. | 2023 г. |
|---|---|---|---|
| ГСН IIIа | поверхностный | 0,8 «умеренно-загрязненные» (III класс) | 0,7 «чистые» (II класс) |
| | придонный | 0,8 «умеренно-загрязненные» (III класс) | 0,8 «умеренно-загрязненные» (III класс) |

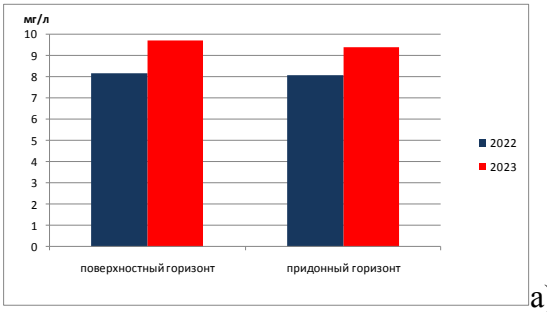
*ГСН IV.* Исследовательские экспедиции на станциях ГСН IV проводились Дагестанским ЦГМС в апреле и сентябре 2023 г. В ходе работ на четырех станциях мониторинга отбирались пробы воды поверхностного и придонного горизонтов.

Результаты КХА и статистической обработки данных гидрохимических параметров морской среды в районе ГСН IV представлены в таблице 6.

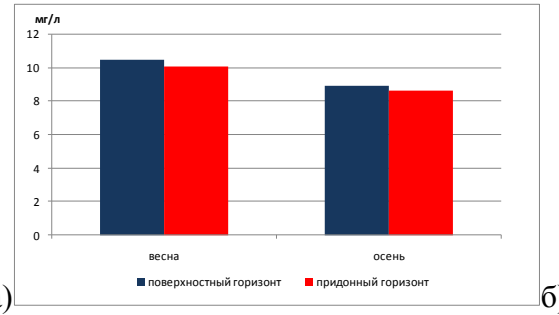
Таблица 6 – Содержание загрязняющих веществ на акватории векового разреза ГСН IV в 2023 г.

| Параметр, единицы измерения | Горизонт | Среднее значение | Минимальное значение | Максимальное значение | Cv, % |
|---|---|---|---|---|---|
| $O_2$, мг/л | поверхностный | 9,69 | 8,74 | 10,61 | 8,7 |
| | придонный | 9,37 | 8,57 | 10,26 | 8,3 |
| $O_2$, % | поверхностный | 110,58 | 103,20 | 119,00 | 5,6 |
| | придонный | 102,69 | 97,20 | 111,10 | 5,2 |
| pH, ед. pH | поверхностный | 8,26 | 7,76 | 8,41 | 2,6 |
| | придонный | 8,23 | 7,51 | 8,42 | 3,7 |
| $NH_4$, мкг/л | поверхностный | 369,75 | 345,00 | 399,00 | 6,2 |
| | придонный | 303,50 | 289,00 | 323,00 | 3,5 |
| $NO_2$, мкг/л | поверхностный | 1,85 | 1,71 | 2,01 | 5,0 |
| | придонный | 1,52 | 1,30 | 1,70 | 9,6 |
| $NO_3$, мкг/л | поверхностный | 17,03 | 16,30 | 17,80 | 3,1 |
| | придонный | 12,89 | 11,40 | 14,00 | 6,8 |
| $N_{общ}$, мкг/л | поверхностный | 411,00 | 370,00 | 454,00 | 9,1 |
| | придонный | 334,63 | 320,00 | 354,00 | 4,3 |
| $N_{орг}$, мкг/л | поверхностный | 22,36 | 2,99 | 48,60 | 76,2 |
| | придонный | 16,73 | 8,40 | 39,80 | 60,0 |
| Si, мкг/л | поверхностный | 306,88 | 276,00 | 334,00 | 8,2 |
| | придонный | 421,63 | 348,00 | 499,00 | 15,1 |
| $PO_4$, мкг/л | поверхностный | 12,34 | 10,00 | 15,20 | 14,9 |
| | придонный | 9,53 | 8,30 | 12,70 | 15,0 |
| $P_{общ}$, мкг/л | поверхностный | 17,16 | 16,80 | 17,60 | 1,8 |
| | придонный | 13,59 | 12,30 | 15,20 | 8,0 |
| $P_{орг}$, мкг/л | поверхностный | 4,83 | 1,80 | 7,60 | 41,0 |
| | придонный | 4,06 | 0,70 | 6,40 | 48,1 |
| НУ, мг/л | поверхностный | 0,04 | 0,003 | 0,07 | 44,1 |
| | придонный | 0,03 | 0,001 | 0,04 | 45,9 |
| Фенолы, мг/л | поверхностный | 0,003 | 0,002 | 0,003 | 21,4 |
| | придонный | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 37,0 |
| СПАВ, мг/л | поверхностный | 0,01 | 0,01 | 0,013 | 10,7 |
| | придонный | 0,01 | 0,01 | 0,012 | 9,5 |
| Zn, мкг/л | поверхностный | 2,33 | 2,2 | 2,4 | 4,1 |
| | придонный | 1,88 | 1,6 | 2,1 | 11,8 |
| Cu, мкг/л | поверхностный | 3,23 | 2,9 | 3,5 | 8,5 |
| | придонный | 2,23 | 2 | 2,6 | 12,9 |

Кислородный режим в водах IV векового разреза в 2023 г. был в пределах нормы. Содержание растворенного кислорода в морской среде в районе границы Северный Каспий – Средний Каспий распределялось в толще воды достаточно равномерно. Значения концентрации колебались от 8,57 мг/л в придонном горизонте до 10,61 мг/л в поверхностном. Средний уровень $O_2$, по сравнению с предыдущим годом увеличился, сезонная динамика кислорода в 2023 г. показала закономерное снижение концентрации в осенний период (рисунок 44).



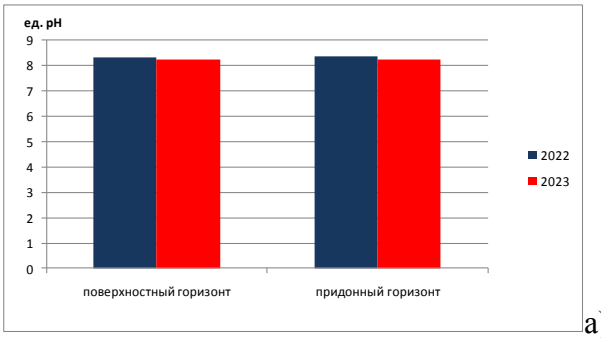
а)



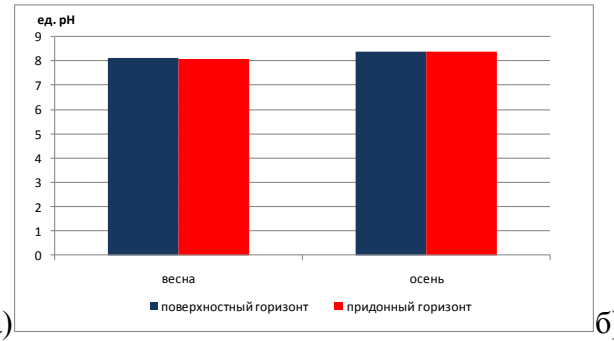
б)

Рисунок 44 – Содержание растворенного кислорода в 2022-2023 гг. (а) и его сезонная динамика в 2023 г. (б)

Динамика водородного показателя в 2023 г. не выявила значительных изменений за исследуемый период, значения pH колебались в узком диапазоне концентрации от 7,51 ед. pH до 8,42 ед. pH. В 2023 г. уровень pH находился в пределах многолетней изменчивости [28, 29]. Средние значения водородного показателя составили: у поверхности 8,26 ед. pH и 8,23 ед. pH у дна (рисунок 45). Годовая и сезонная изменчивость этого показателя была незначительной (таблица 6).



а)



б)

Рисунок 45 – Водородный показатель в 2022-2023 гг. (а) и его сезонная динамика в 2023 г. (б)

Отмеченная в 2022 г. в районе векового разреза ГСН IV тенденция к увеличению содержания аммонийного азота наблюдалась и в 2023 г. (рисунок 46). Максимальный уровень $NH_4^+$ составил 399,0 мкг/л в поверхностном горизонте, в придонном горизонте максимум достигал 323,0 мкг/л (в 2022 г. максимум достигал 319,0 мкг/л). Средние

значения иона аммония составили соответственно в поверхностном и придонном слое 369,75 и 303,5 мкг/л. Пространственная и сезонная изменчивость были незначительны (до 6,2%).

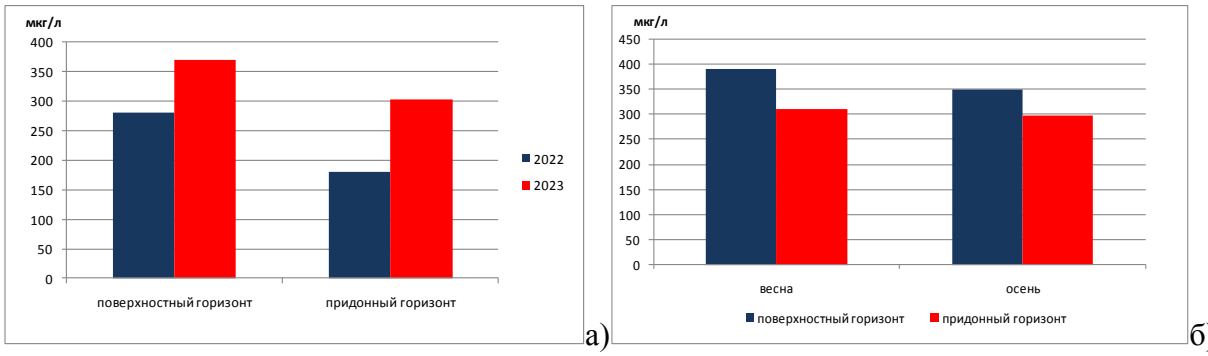



Рисунок 46 – Содержание аммонийного азота в 2022-2023 гг. (а)
и его сезонная динамика в 2023 г. (б)

В 2023 г. содержание нитритного азота на акватории ГСН IV увеличилось по сравнению с предыдущим годом, диапазон концентрации составил 1,30-2,01 мкг/л. Максимальная концентрация была зарегистрирована в поверхностном горизонте в осенний период. Средняя концентрация $NO_2$ в поверхностном горизонте составила 1,85 мкг/л, а в придонном – 1,52 мкг/л. Сезонная динамика в 2023 г. была выражена слабо (рисунок 47).

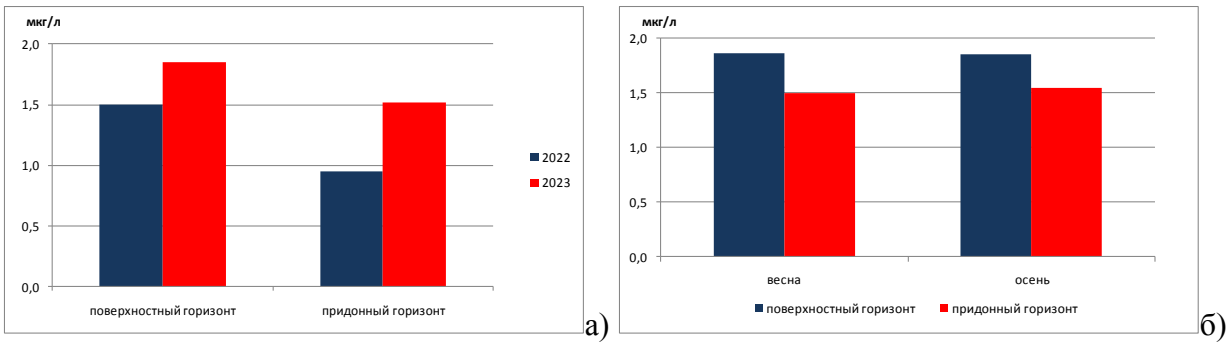
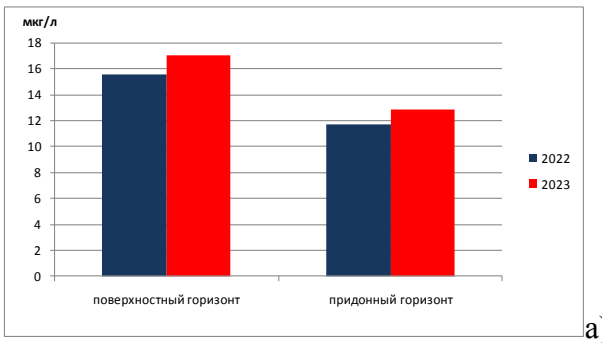
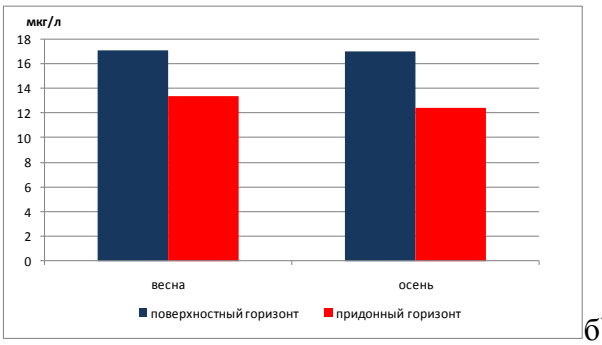



Рисунок 47 – Содержание нитритного азота в 2022-2023 гг. (а)
и его сезонная динамика в 2023 г. (б)

Также как концентрация нитритного азота, средняя концентрация нитратов в районе ГСН IV незначительно увеличилась относительно 2022 г. как в поверхностном, так и в придонном горизонтах. Экстремальные значения в 2023 г. составили довольно узкий диапазон значений: от 11,40 мкг/л до 17,80 мкг/л, что в целом соответствует многолетней динамике (рисунок 48). Сезонная и пространственная изменчивость $NO_3$ в этой части моря были очень низкими.



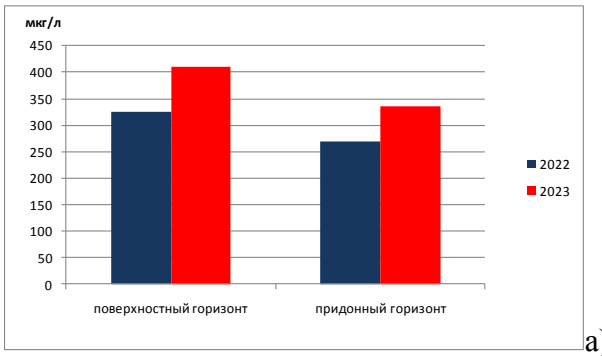
а)



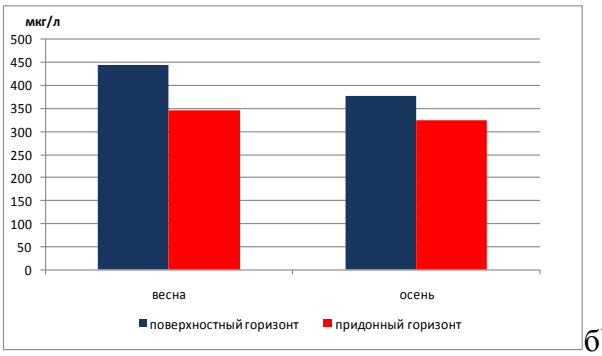
б)

Рисунок 48 – Содержание нитратного азота в 2022-2023 гг. (а) и его сезонная динамика в 2023 г. (б)

Концентрация общего азота ($N_{общ}$ ) в 2023 г. в толще воды исследуемой акватории колебалась от 320,0 мкг/л до 454,0 мкг/л, средние значения представлены на рисунке 49. Сезонная динамика показала незначительное снижение содержания $N_{общ}$ в осенний период, (рисунок 49). Следует отметить общее увеличение содержания соединений азота в районе ГСН IV.



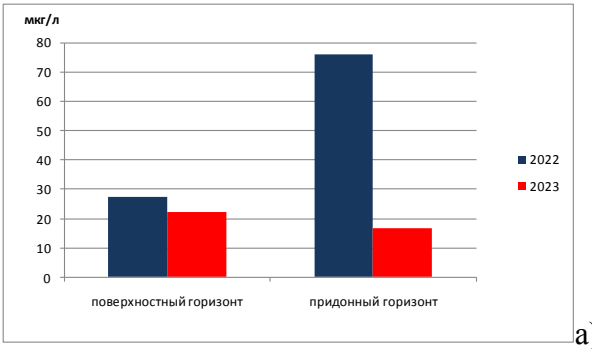
а)



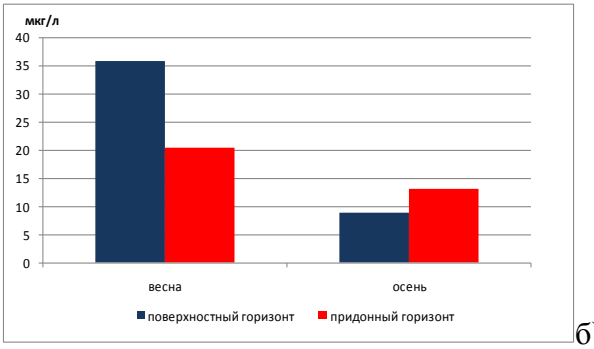
б)

Рисунок 49 – Содержание общего азота в 2022-2023 гг. (а) и его сезонная динамика в 2023 г. (б)

Содержание органического азота ($N_{орг}$) определялось в 2023 г. путем вычисления, как разница между общим азотом и суммой минеральных форм азота (рисунок 50). Экстремальные значения (2,99-48,60 мкг/л) были зарегистрированы в поверхностном горизонте. Рассчитанное стандартное отклонение от среднего значения концентрации $N_{орг}$ составило у поверхности 76,2%, что говорит о высокой изменчивости этого параметра и это самый высокий показатель изменчивости для данной акватории. В придонном горизонте стандартное отклонение от среднего составило 60,0%, что также определяет уровень изменчивости как «высокий», кроме того, в придонном горизонте акватории следует отметить резкое снижение (в 4,5 раза) концентрации органического азота относительно 2022 г.



а)

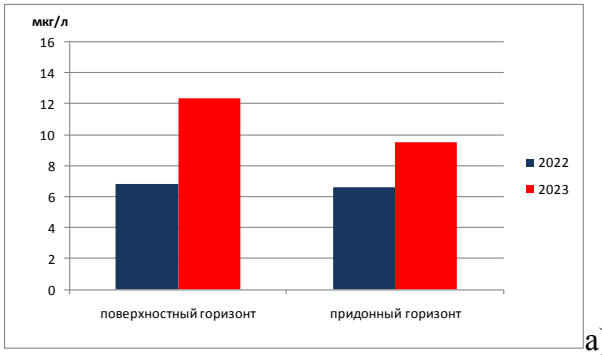


б)

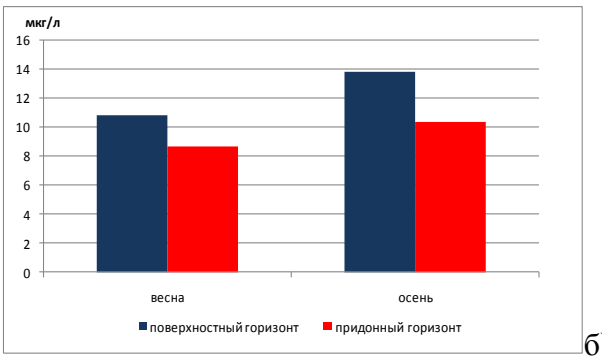
Рисунок 50 – Содержание органического азота в 2022-2023 гг. (а)
и его сезонная динамика в 2023 г. (б)

Следует также отметить, что в 2023 г. концентрация соединений азота увеличилась за счет его минеральных форм, в то время как количество органического азота снизилось.

Минеральный фосфор играет важнейшую роль в формировании биоценозов морской среды. В 2023 г. в районе векового разреза ГСН IV значения концентрации $PO_4$ колебались от 8,30 мкг/л до 15,20 мкг/л. Средняя концентрация в поверхностном горизонте была равна 12,34 мкг/л, что в 1,8 раз выше значения 2022 г. [29]. В придонном горизонте содержание $PO_4$ тоже увеличилось и составило в среднем 9,53 мкг/л. Сезонные колебания концентрации минерального фосфора в 2023 г. были незначительны (рисунок 51).



а)



б)

Рисунок 51 – Содержание минерального фосфора в 2022-2023 гг. (а)
и его сезонная динамика в 2023 г. (б)

Содержание общего фосфора в 2023 г. изменялось от 12,30 мкг/л до 17,60 мкг/л. Минимальное значение концентрации отмечено в придонном горизонте, максимальное – в поверхностном, стандартное отклонение от среднего у поверхности и у дна составляло всего 1,8 % и 8,0 % соответственно, что говорит о низкой изменчивости этого параметра. Значительных сезонных флуктуаций в 2023 г. не наблюдалось (рисунок 52).

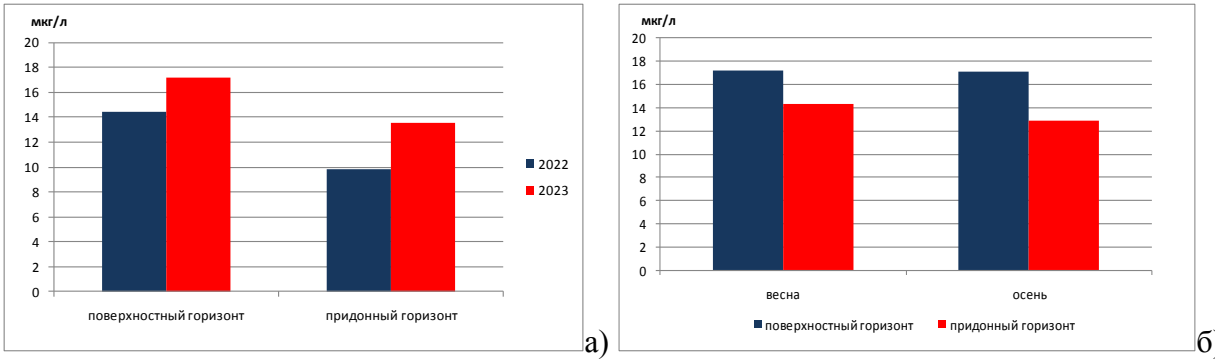



Рисунок 52 – Содержание общего фосфора в 2022-2023 гг. (а)
и его сезонная динамика в 2023 г. (б)

Концентрации органического фосфора вычислялась как разница между общим и минеральным фосфором (рисунок 53). Значения в толще воды изменялись от 0,70 до 7,60 мкг/л, при этом минимум был зарегистрирован в придонном горизонте, а максимум – в поверхностном. Стандартное отклонение от среднего значения концентрации органического фосфора составило у поверхности 41,0 %, у дна 48,1%, что говорит о среднем уровне изменчивости этого параметра.

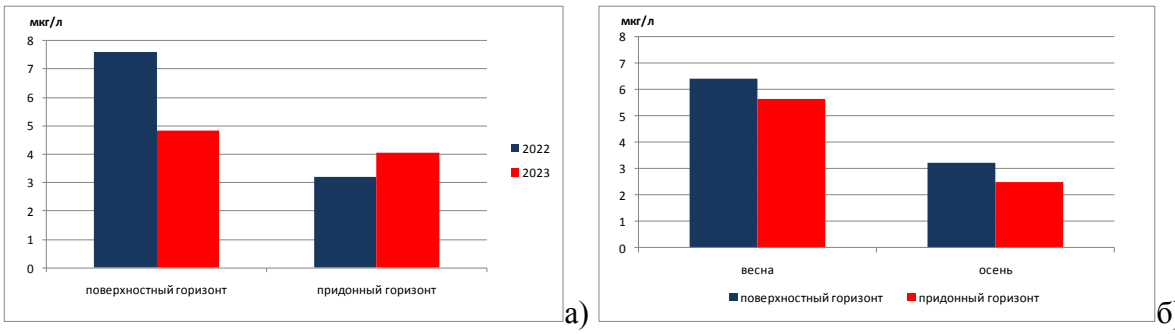
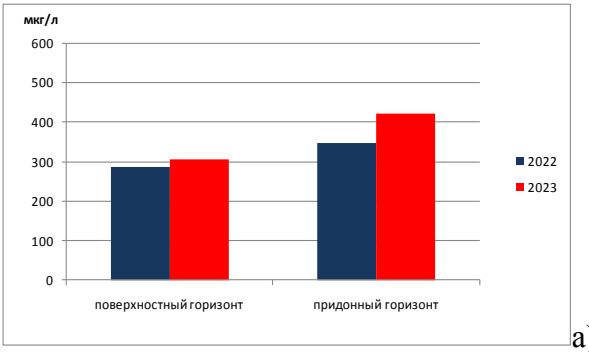
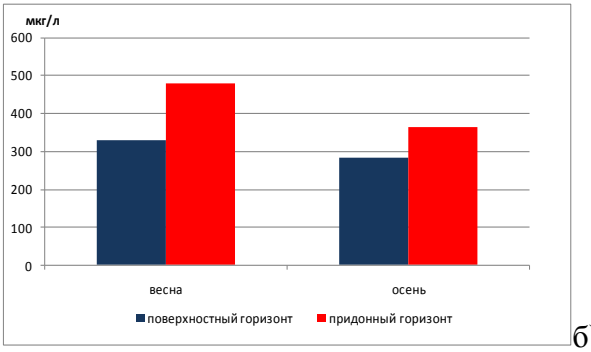



Рисунок 53 – Содержание органического фосфора в 2022-2023 гг. (а)
и его сезонная динамика в 2023 г. (б)

Среднее содержание кремния в поверхностном горизонте составило 306,88 мкг/л, в придонном – 421,63 мкг/л. В течение 2023 г. концентрация Si в толще воды колебалась в диапазоне 276,00-499,00 мкг/л. Рассчитанное стандартное отклонение от среднего было низким (8,2 % в поверхностном горизонте, 15,1 % в придонном горизонте). Относительно 2022 г. содержание кремния в воде увеличилось (рисунок 54).



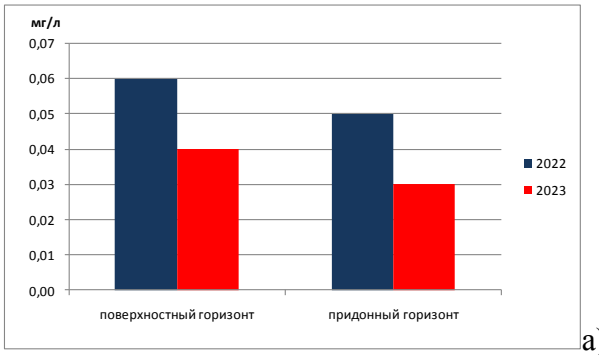
а)



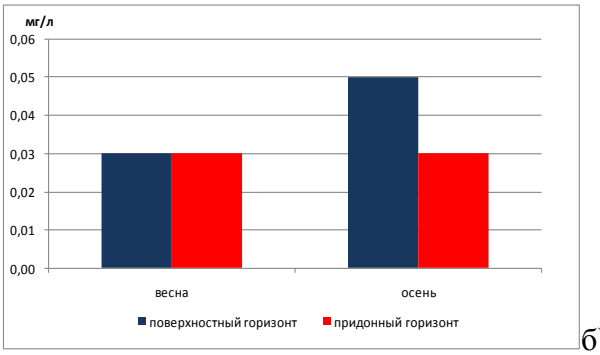
б)

Рисунок 54 – Содержание кремния в 2022-2023 гг. (а)
и его сезонная динамика в 2023 г. (б)

Согласно значению стандартного отклонения от средней концентрации НУ распределение этого ЗВ в районе ГСН IV характеризовалось средней изменчивостью. Содержание НУ изменялось от 0,001 мг/л (в придонном горизонте) до 0,07 мг/л (в поверхностном горизонте). Максимальное значение концентрации превысило установленный норматив (ПДК = 0,05 мг/л) в 1,4 раза и было зарегистрировано в сентябре в поверхностном горизонте. Количество проб, в которых было обнаружено превышение ПДК, составило 6,3 %. По сравнению с предшествующим годом средняя концентрация НУ незначительно снизилась (рисунок 55).



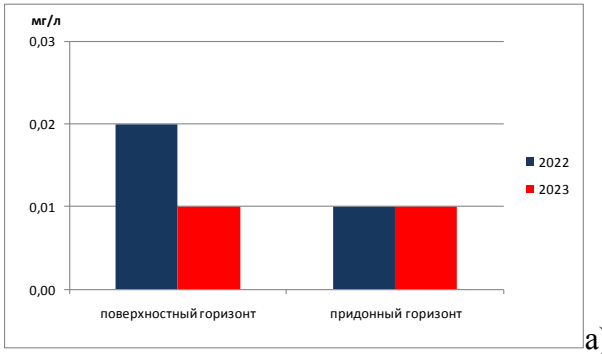
а)



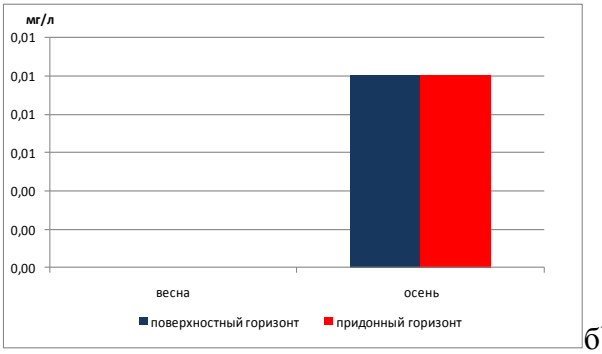
б)

Рисунок 55 – Содержание НУ в 2022-2023 гг. (а) и их сезонная динамика в 2023 г. (б)

Уровень СПАВ относительно предыдущего периода снизился только в поверхностном горизонте, в придонном горизонте концентрация СПАВ осталась на уровне прошлого года (рисунок 56). Минимальная концентрация в отчетном году была зарегистрирована в придонном горизонте на уровне 0,010 мг/л, а максимальная в поверхностном горизонте составила 0,013 мг/л. Распределение концентрации СПАВ в толще воды в 2023 году было достаточно равномерным, об этом говорит невысокое значение стандартного отклонения от среднего (10,7 % в поверхностном горизонте, 9,5 % в придонном горизонте).



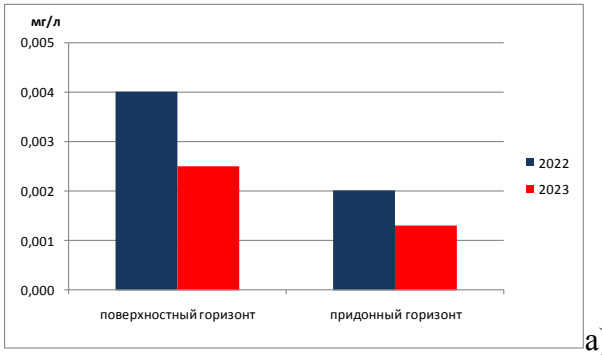
а)



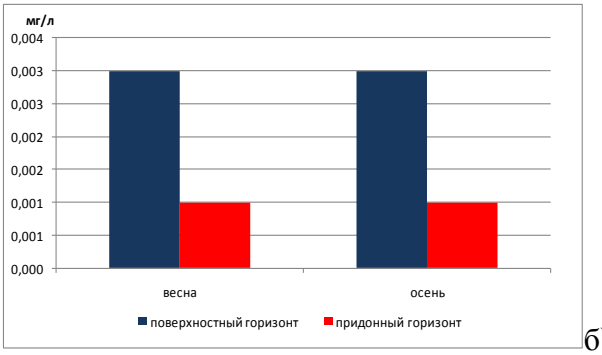
б)

Рисунок 56 – Содержание СПАВ в 2022-2023 гг. (а) и их сезонная динамика в 2023 г. (б)

Распределение фенолов в районе ГСН IV, также как и НУ, характеризовалось средней изменчивостью. В 2023 г. содержание фенолов изменялось от 0,001 мг/л (в придонном горизонте) до 0,003 мг/л (в поверхностном горизонте), максимальное значение превысило ПДК в 3 раза. Превышения установленного норматива регистрировались в 100 % проб поверхностного горизонта и в 25 % проб придонного горизонта. По сравнению с предшествующим годом средняя концентрация фенолов незначительно снизилась (рисунок 57).



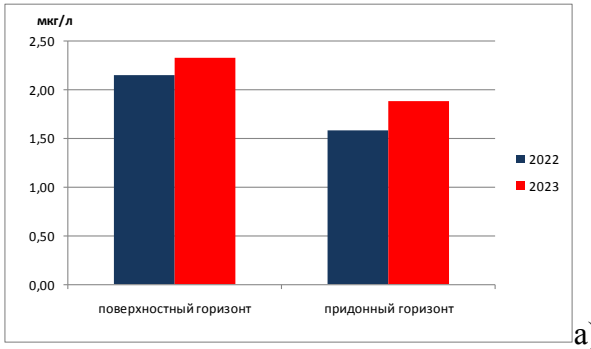
а)



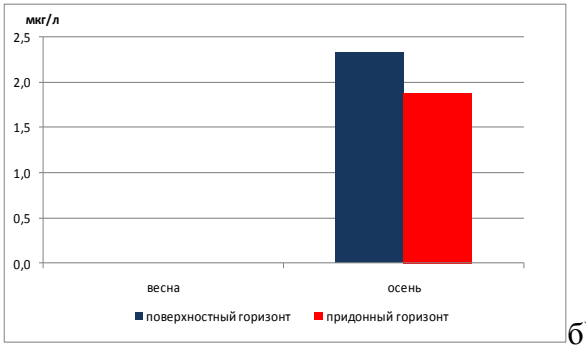
б)

Рисунок 57 – Содержание фенолов в 2022-2023 гг. (а)
и их сезонная динамика в 2023 г. (б)

Концентрация цинка в районе ГСН IV в 2023 г. изменялась в диапазоне значений от 1,6 мкг/л до 2,4 мкг/л и характеризовалась низкой изменчивостью. Минимальное значение отмечено в придонном горизонте, максимальное – в поверхностном. Содержание цинка в 2023 г. незначительно увеличилось по сравнению с 2022 г., превышений ПДК в 2023 г. не регистрировалось (рисунок 58).



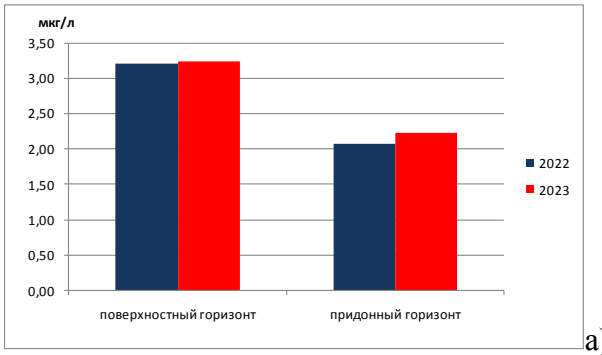
а)



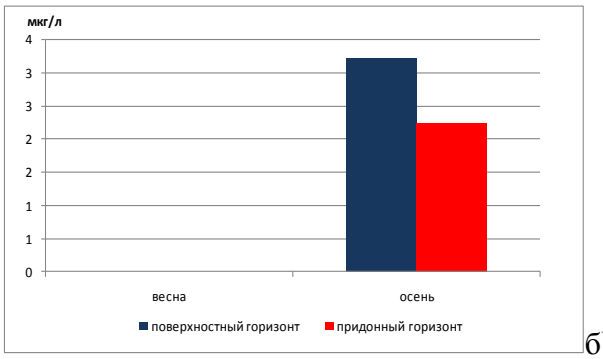
б)

Рисунок 58 – Содержание цинка в 2022-2023 гг. (а) и его сезонная динамика в 2023 г. (б)

Содержание меди на исследуемой акватории в 2023 г. колебалось в диапазоне 2,0-3,5 мкг/л. Значения концентрации меди, как и цинка, в 2023 г. незначительно увеличились по сравнению с 2022 г., превышений ПДК в 2023 г. не регистрировалось (рисунок 59).



а)



б)

Рисунок 59 – Содержание меди в 2022-2023 гг. (а) и ее сезонная динамика в 2023 г. (б)

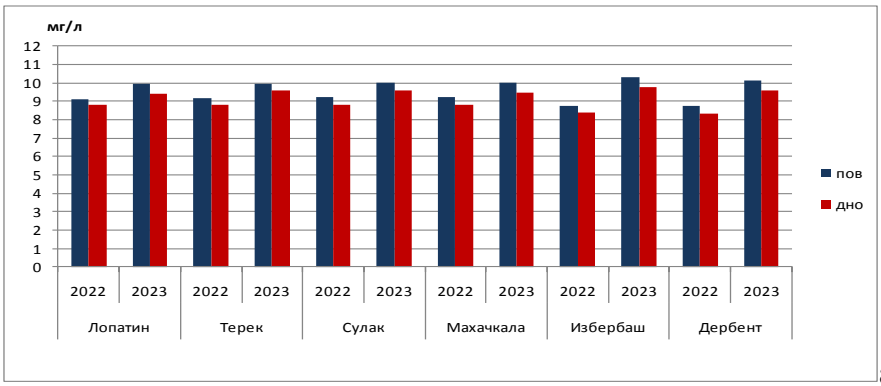
Оценка состояния и загрязнения морской среды проводилась с использованием ИЗВ [1]. Расчет индекса загрязненности в 2023 году показал, что воды поверхностного слоя в районе ГСН IV относятся к III классу качества вод «умеренно-загрязненные», а придонного – к классу «чистые» (II класс качества вод) (таблица 7).

Таблица 7 – Индекс загрязненности вод Северного Каспия в 2022-2023 гг.

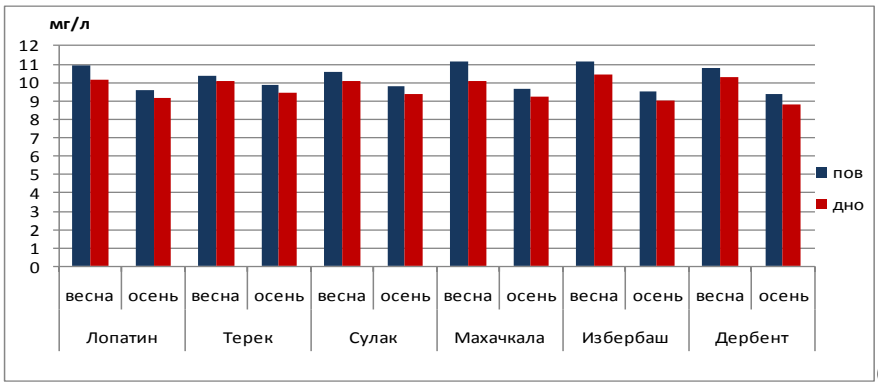
| Разрез | Горизонт | 2022 г. | 2023 г. |
|---|---|---|---|
| ГСН IV | поверхностный | 0,7 «чистые» (II класс) | 1,2 «умеренно-загрязненные» (III класс) |
| | придонный | 0,6 «чистые» (II класс) | 0,7 «чистые» (II класс) |

*Средний Каспий.* Состояние и загрязнение вод в Среднем Каспии оценивалось на стационарных пунктах наблюдений в районе западного побережья Республики Дагестан.

В 2023 г. содержание растворенного кислорода в поверхностном и придонном горизонте не опускалось ниже допустимого уровня. Относительно прошлого года концентрация $O_2$ показала незначительный рост. Минимальное значение (8,58 мг/л) было зарегистрировано в поверхностном горизонте на постах Лопатин, Сулак, Махачкала и Дербент. Максимальная концентрация (11,37 мг/л) кислорода в морской воде отмечена в поверхностном горизонте в районе пунктов Махачкала и Избербаш. Пространственная и сезонная изменчивость содержания кислорода была низкой, в осенний период уровень $O_2$ в воде закономерно снижается (таблица 8, рисунок 60).



а)



б)

Рисунок 60 – Содержание растворенного кислорода у дагестанского побережья Среднего Каспия (а – годовая динамика, б – сезонная динамика)

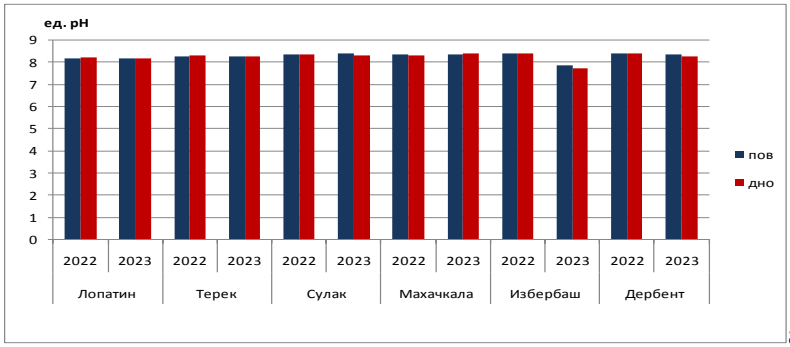
Таблица 8 – Содержание загрязняющих веществ у западного побережья Среднего Каспия

| Параметр | Горизонт | Лопатин | | | Терек | | | Сулак | | | Махачкала | | | Избербаш | | | Дербент | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ср | мин | макс | ср | мин | макс | ср | мин | макс | ср | мин | макс | ср | мин | макс | ср | мин | макс |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| $O_2$, мг/л | пов | 9,93 | 9,18 | 10,96 | 9,97 | 9,18 | 10,70 | 9,98 | 8,87 | 10,87 | 9,98 | 8,87 | 11,37 | 10,32 | 9,24 | 11,37 | 10,11 | 9,37 | 10,82 |
| | дно | 9,38 | 8,58 | 10,30 | 9,59 | 8,83 | 10,23 | 9,56 | 8,58 | 10,13 | 9,48 | 8,58 | 10,56 | 9,75 | 8,94 | 10,66 | 9,57 | 8,58 | 10,30 |
| $O_2$, % | пов | 119,4 | 107,3 | 129,3 | 119,4 | 102,5 | 130,5 | 118,7 | 101,0 | 132,5 | 116,5 | 107,2 | 130,5 | 115,2 | 109,6 | 120,3 | 112,1 | 109,8 | 115,1 |
| | дно | 111,3 | 97,2 | 120,7 | 112,1 | 99,1 | 124,7 | 107,7 | 93,6 | 124,7 | 107,6 | 93,7 | 125,4 | 97,8 | 92,0 | 103,9 | 101,3 | 96,2 | 104,4 |
| pH, ед. pH | пов | 8,17 | 7,41 | 8,59 | 8,26 | 7,45 | 8,59 | 8,41 | 8,11 | 8,65 | 8,36 | 7,17 | 8,46 | 7,87 | 7,24 | 8,43 | 8,35 | 8,26 | 8,46 |
| | дно | 8,16 | 7,50 | 8,56 | 8,26 | 7,20 | 8,56 | 8,32 | 6,75 | 9,38 | 8,40 | 8,30 | 8,45 | 7,72 | 6,91 | 8,36 | 8,27 | 8,19 | 8,40 |
| $NH_4$, мкг/л | пов | 385,1 | 368,0 | 409,0 | 360,5 | 319,0 | 399,0 | 362,2 | 348,0 | 378,0 | 364,5 | 335,0 | 394,0 | 382,2 | 370,0 | 392,0 | 367,0 | 346,0 | 389,0 |
| | дно | 312,9 | 249,0 | 354,0 | 299,0 | 229,0 | 345,0 | 299,2 | 268,0 | 320,0 | 294,9 | 247,0 | 326,0 | 311,7 | 300,0 | 321,0 | 304,0 | 301,0 | 308,0 |
| $NO_2$, мкг/л | пов | 1,84 | 1,43 | 2,21 | 1,75 | 1,44 | 2,00 | 1,70 | 1,44 | 2,11 | 2,00 | 1,78 | 2,31 | 1,72 | 1,55 | 1,91 | 1,66 | 1,29 | 2,00 |
| | дно | 2,06 | 1,22 | 7,70 | 1,46 | 1,09 | 1,66 | 1,47 | 1,18 | 1,87 | 1,65 | 1,40 | 1,94 | 1,33 | 1,21 | 1,42 | 1,48 | 1,12 | 1,89 |
| $NO_3$, мкг/л | пов | 17,71 | 14,80 | 20,10 | 16,68 | 15,30 | 19,10 | 16,79 | 15,90 | 18,30 | 16,79 | 15,60 | 17,80 | 16,97 | 16,80 | 17,30 | 15,30 | 13,20 | 17,10 |
| | дно | 12,75 | 1,38 | 15,20 | 13,07 | 10,20 | 14,90 | 13,39 | 12,40 | 14,50 | 13,61 | 12,60 | 15,40 | 12,55 | 11,60 | 13,10 | 11,25 | 9,80 | 12,80 |
| $N_{общ}$, мкг/л | пов | 416,8 | 389,0 | 438,0 | 424,2 | 374,0 | 474,0 | 415,4 | 371,0 | 453,0 | 422,6 | 381,0 | 481,0 | 430,3 | 401,0 | 461,0 | 414,3 | 380,0 | 449,0 |
| | дно | 354,2 | 321,0 | 399,0 | 351,6 | 279,0 | 402,0 | 342,3 | 290,0 | 385,0 | 348,5 | 302,0 | 382,0 | 366,5 | 348,0 | 387,0 | 354,0 | 332,0 | 379,0 |
| $N_{орг}$, мкг/л | пов | 12,20 | 2,09 | 31,04 | 45,27 | 21,56 | 95,47 | 34,71 | 2,88 | 64,37 | 39,35 | 3,11 | 108,42 | 29,48 | 6,54 | 53,84 | 30,29 | 13,71 | 40,90 |
| | дно | 26,44 | 0,20 | 55,33 | 38,02 | 9,45 | 75,58 | 28,19 | 5,72 | 60,61 | 36,96 | 0,00 | 100,39 | 40,96 | 15,99 | 55,78 | 37,28 | 12,75 | 63,81 |
| Si, мкг/л | пов | 297,8 | 274,0 | 347,0 | 321,5 | 249,0 | 362,0 | 332,8 | 299,0 | 358,0 | 345,0 | 298,0 | 389,0 | 335,7 | 322,0 | 344,0 | 333,5 | 318,0 | 351,0 |
| | дно | 398,8 | 369,0 | 442,0 | 447,6 | 364,0 | 491,0 | 441,0 | 395,0 | 481,0 | 446,3 | 388,0 | 478,0 | 452,2 | 437,0 | 465,0 | 426,8 | 421,0 | 431,0 |
| $PO_4$, мкг/л | пов | 14,13 | 11,20 | 19,80 | 12,30 | 10,50 | 14,30 | 13,24 | 10,80 | 14,80 | 13,98 | 10,90 | 15,70 | 14,18 | 12,10 | 16,70 | 13,43 | 11,00 | 16,30 |
| | дно | 10,00 | 7,40 | 16,80 | 9,14 | 7,20 | 12,80 | 10,31 | 8,70 | 11,90 | 11,01 | 8,80 | 12,30 | 10,73 | 9,90 | 12,10 | 10,18 | 7,30 | 12,80 |
| $P_{общ}$, мкг/л | пов | 41,86 | 13,10 | 300,00 | 17,62 | 16,80 | 18,20 | 16,93 | 15,20 | 17,50 | 18,02 | 16,80 | 19,50 | 17,60 | 15,80 | 19,40 | 16,40 | 13,90 | 19,40 |
| | дно | 43,90 | 8,40 | 371,00 | 13,34 | 12,20 | 14,80 | 13,63 | 12,80 | 14,80 | 13,97 | 12,60 | 15,30 | 13,97 | 13,10 | 15,40 | 14,30 | 11,80 | 17,00 |
| $P_{орг}$, мкг/л | пов | 27,73 | 0 | 280,20 | 5,32 | 2,70 | 7,30 | 3,69 | 1,90 | 6,00 | 4,04 | 1,80 | 6,40 | 3,42 | 2,20 | 4,10 | 2,98 | 2,60 | 3,20 |
| | дно | 33,90 | 0 | 354,70 | 4,20 | 1,10 | 5,80 | 3,32 | 1,90 | 4,70 | 2,85 | 0,00 | 4,30 | 3,23 | 2,00 | 4,10 | 4,13 | 3,50 | 4,50 |
| НУ, мг/л | пов | 0,05 | 0,04 | 0,06 | 0,05 | 0,04 | 0,06 | 0,05 | 0,04 | 0,07 | 0,06 | 0,04 | 0,07 | 0,06 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,06 |
| | дно | 0,04 | 0,03 | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,05 |
| Фенолы, мг/л | пов | 0,003 | 0,002 | 0,004 | 0,004 | 0,003 | 0,004 | 0,003 | 0,002 | 0,005 | 0,004 | 0,003 | 0,007 | 0,004 | 0,003 | 0,005 | 0,005 | 0,003 | 0,006 |
| | дно | 0,002 | 0,001 | 0,003 | 0,002 | 0,001 | 0,003 | 0,002 | 0,001 | 0,003 | 0,003 | 0,002 | 0,004 | 0,002 | 0,002 | 0,003 | 0,002 | 0,002 | 0,003 |
| СПАВ, мг/л | пов | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | - | - | - | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| | дно | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,01 | 0,18 | - | - | - | 0,02 | 0,02 | 0,02 |

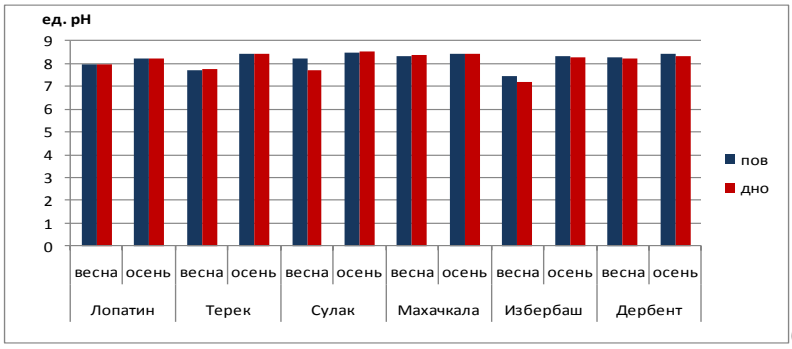
Продолжение таблицы 8

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Zn, мкг/л | пов | 3,10 | 3,00 | 3,20 | 1,95 | 1,70 | 2,10 | 1,73 | 1,50 | 1,90 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | дно | 2,60 | 2,50 | 2,70 | 1,60 | 1,50 | 1,70 | 1,45 | 1,00 | 1,70 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Cu, мкг/л | пов | 4,45 | 4,30 | 4,60 | 3,08 | 3,00 | 3,20 | 3,17 | 2,80 | 3,60 | - | - | - | - | - | - | 3,00 | 3,00 | 3,00 |
| | дно | 2,50 | 2,30 | 2,70 | 2,48 | 2,20 | 2,70 | 2,53 | 2,30 | 2,80 | - | - | - | - | - | - | 2,30 | 2,30 | 2,30 |

Водородный показатель в 2023 г. изменялся от 6,75 до 9,38 ед. pH, минимальное и максимальное значение зарегистрировано в придонном горизонте на посту Сулак. Самый высокий среднегодовой уровень pH (8,41 ед. pH) также отмечен на посту Сулак (таблица 8). Пространственное распределение водородного показателя в 2023 г. было достаточно однородным, сезонная динамика была выражена слабо, стандартное отклонение от среднего составило 40 %, что характеризует низкую изменчивость показателя (рисунок 61).



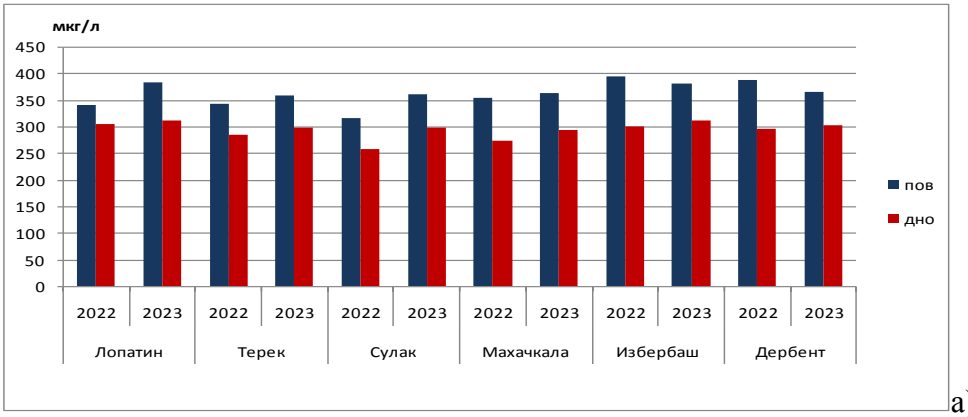
а)



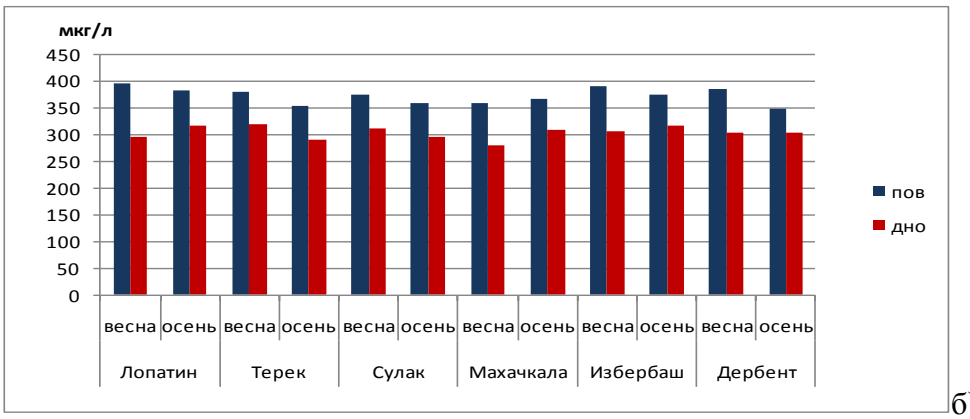
б)

Рисунок 61 – Водородный показатель у дагестанского побережья Среднего Каспия (а – годовая динамика, б – сезонная динамика)

Концентрация аммонийного азота на акватории дагестанского шельфа в 2023 г. колебалась в диапазоне 229,0-429,0 мкг/л (таблица 8), относительно 2022 г. изменения были незначительны. Самое низкое значение $NH_4^+$ было зарегистрировано в придонном горизонте у гидрологического поста Терек, а самое высокое отмечено в поверхностном горизонте поста Лопатин. Рассчитанное стандартное отклонение от среднего свидетельствует об «очень низкой» изменчивости данного параметра (6,5 %). Пространственное распределение на акватории дагестанского шельфа было достаточно однородным как весной, так и осенью (рисунок 62).



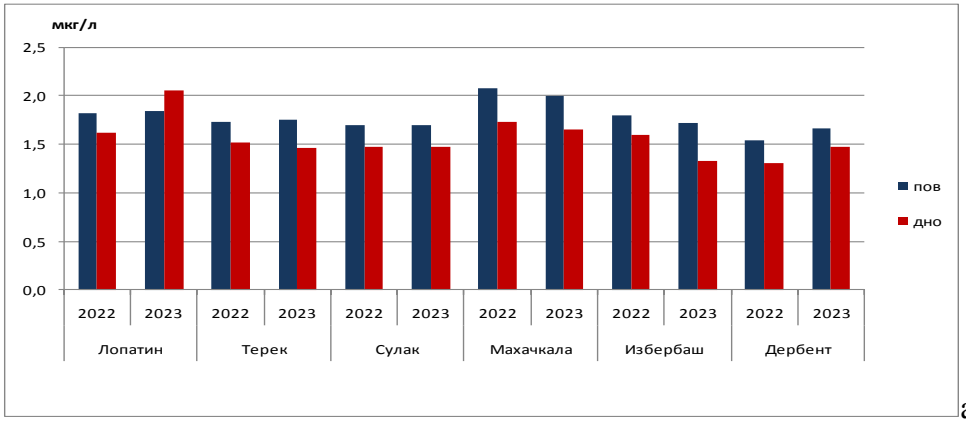

а)



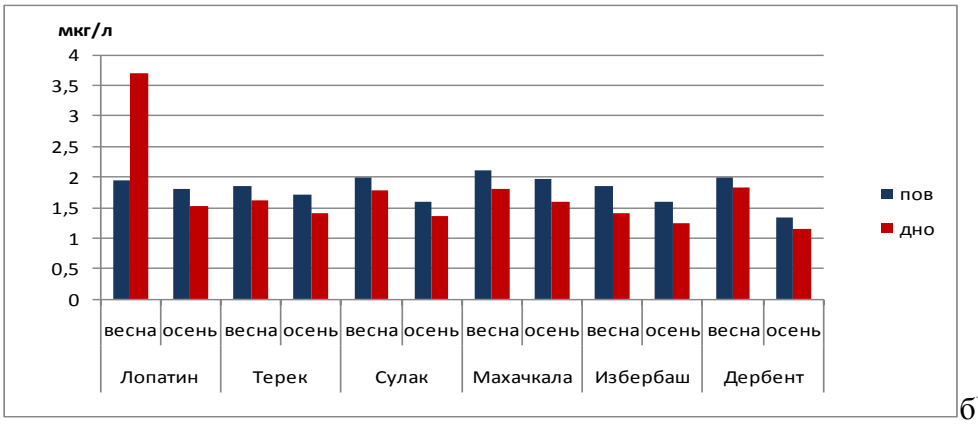

б)

Рисунок 62 – Содержание аммонийного азота у дагестанского побережья Среднего Каспия (а – годовая динамика, б – сезонная динамика)

Колебания концентрации $NO_2$ в Среднем Каспии составили 1,09-7,70 мкг/л, минимальное значение отмечено в придонном горизонте пункта Терек, а максимальное значение в придонном горизонте у пункта наблюдения Лопатин. Динамика значений концентрации относительно прошлого года была достаточно противоречивой: содержание нитритов на севере акватории (Лопатин) и на юге (Дербент) незначительно увеличилось, на станциях Терек, Сулак не изменилось, а в районе Махачкалы и Избербаша снизилось (таблица 8). Пространственное и сезонное распределение содержания нитритов характеризовалось средней изменчивостью (стандартное отклонение от среднего составило 64 %) (рисунок 63).



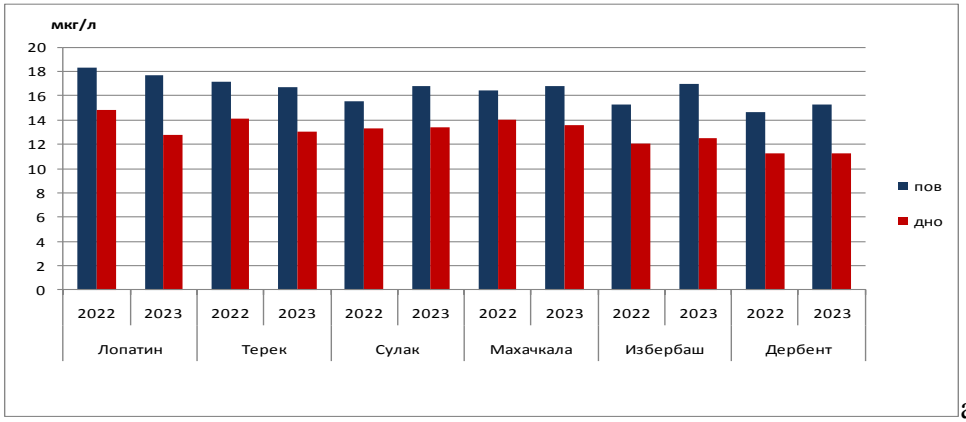

а)



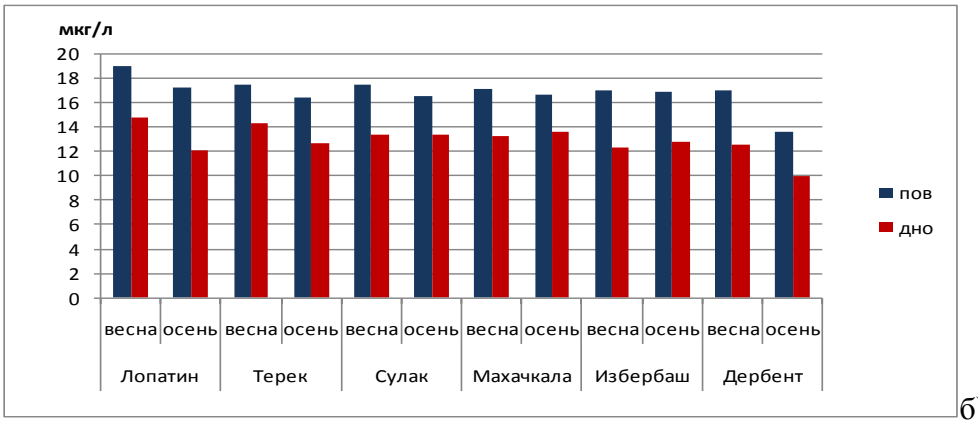

б)

Рисунок 63 – Содержание нитритного азота у дагестанского побережья Среднего Каспия (а – годовая динамика, б – сезонная динамика)

Особенностью пространственного распределения нитратного азота в 2023 г. является то, что с севера на юг его среднегодовая концентрация плавно снижается. По сравнению с прошлым годом концентрации $NO_3$ на постах Лопатин и Дербент увеличилась, а на постах Махачкала и Избербаш снизилась. Диапазон значений составил от 1,38 мкг/л в придонном горизонте до 20,10 мкг/л в поверхностном горизонте, экстремумы зафиксированы на станции Лопатин (таблица 8, рисунок 64). Изменчивость концентрации нитратов в 2023 г. была низкой (стандартное отклонение от среднего значения 11 %).




а)




б)

Рисунок 64 – Содержание нитратного азота у дагестанского побережья Среднего Каспия (а – годовая динамика, б – сезонная динамика)

Содержание общего азота в Среднем Каспии изменялось от 279,0 мкг/л до 481,0 мкг/л, минимум был зарегистрирован в придонном горизонте пункта наблюдений Терек, а максимум – в поверхностном горизонте пункта Махачкала (таблица 8, рисунок 65). Значительных сезонных колебаний $N_{общ}$ выявлено не было. Согласно стандартному отклонению от средней концентрации изменчивость оценивалась как высокая (72 %).

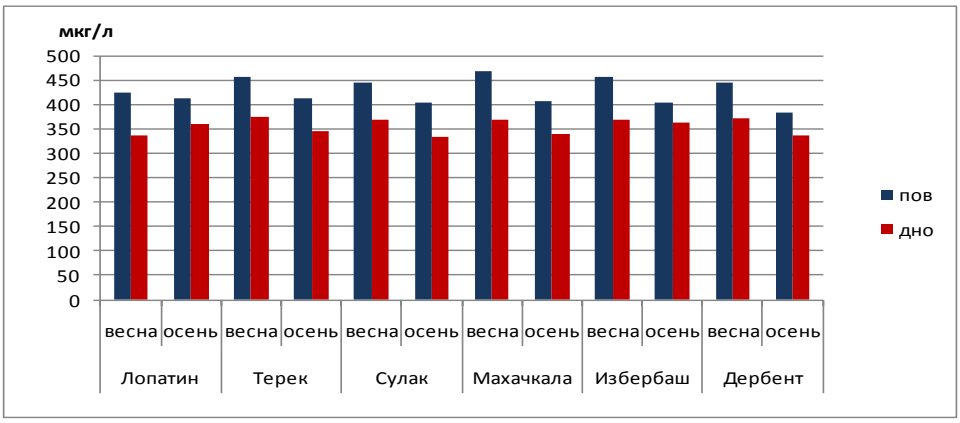



Рисунок 65 – Содержание общего азота у дагестанского побережья Среднего Каспия в 2023 г.

Уровень органического азота определялся путем вычисления из концентрации общего азота. Пространственное распределение $N_{орг}$ весной 2023 г. демонстрировало увеличение концентрации в направлении от пункта Лопатин до пункта Махачкала, однако на самых южных станциях содержание органического азота снова снижалось (таблица 8, рисунок 66). Концентрация $N_{орг}$ в 2023 г. была в диапазоне от аналитического ноля до 108,4 мкг/л, что говорит об очень высокой изменчивости данного параметра. Сезонная динамика органического азота в 2023 г. была достаточно противоречивой: на станции Лопатин количество органического азота в толще воды увеличилось в 1,3 раза, в воде пункта наблюдений Терек содержание органического азота снизилось в 1,2 раза, у станции Сулак концентрация органического азота снизилась в 1,8 раза, а у станции Махачкала – в 4,3 раза, на станциях Избербаш и Дербент наблюдалось снижение уровня органического азота в 3,1 и 2,3 раза соответственно.

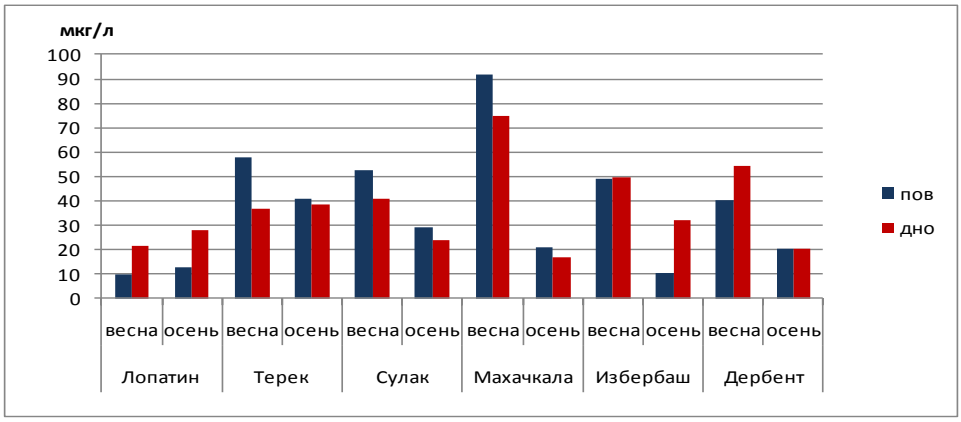
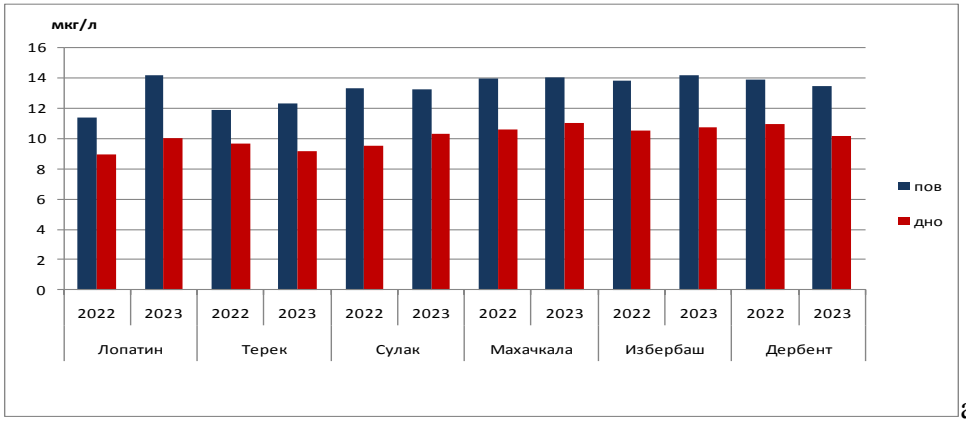
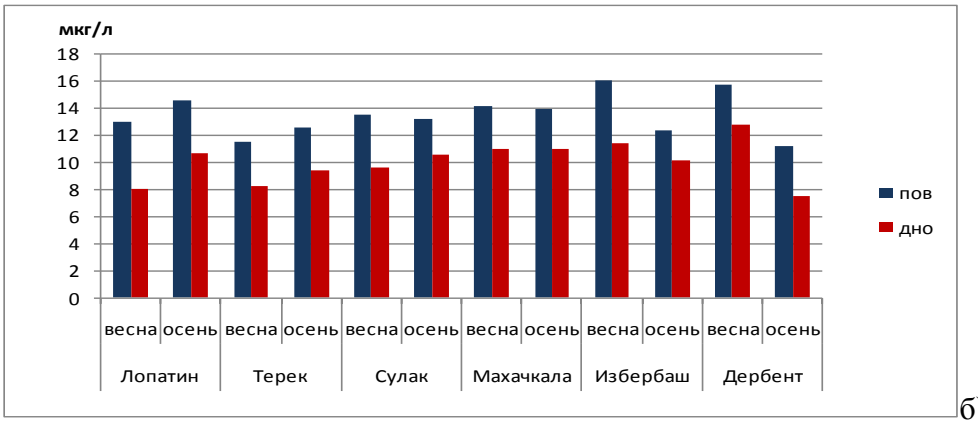



Рисунок 66 – Содержание органического азота у дагестанского побережья Среднего Каспия в 2023 г.

Пространственная динамика концентрации минерального фосфора имела иную направленность. Весной средний уровень $PO_4$ увеличился с севера на юг от станции Терек, достигая своих наибольших значений на станции Избербаш и Дербент (таблица 8, рисунок 67). В осенний период, напротив, на южных станциях содержание минерального фосфора было самым низким, а самый высокий уровень отмечен на станции Лопатин. В целом за год концентрация $PO_4$ изменялась от 7,20 мкг/л до 19,80 мкг/л (Лопатин), стандартное отклонение от среднего в отчетном году составило 247 %, что говорит об очень высокой изменчивости. Относительно прошлого года содержание минерального фосфора увеличилось по всем постам, кроме пункта Сулак и самого южного пункта – Дербент.




а)




б)

Рисунок 67 – Содержание минерального фосфора у дагестанского побережья Среднего Каспия (а – годовая динамика, б – сезонная динамика)

Концентрация общего фосфора в 2023 г. изменялась от 8,40 мкг/л до 371,00 мкг/л, при этом и максимальное, и минимальное значение концентрации было зарегистрировано осенью в придонном горизонте пункта наблюдений Лопатин. Осенью в воде у станции Лопатин наблюдался скачок концентрации $P_{общ}$, где его концентрация была более чем в 2 раза выше средней концентрации по акватории (таблица 8, рисунок 68). На остальных пунктах наблюдений содержание общего фосфора было достаточно равномерным.

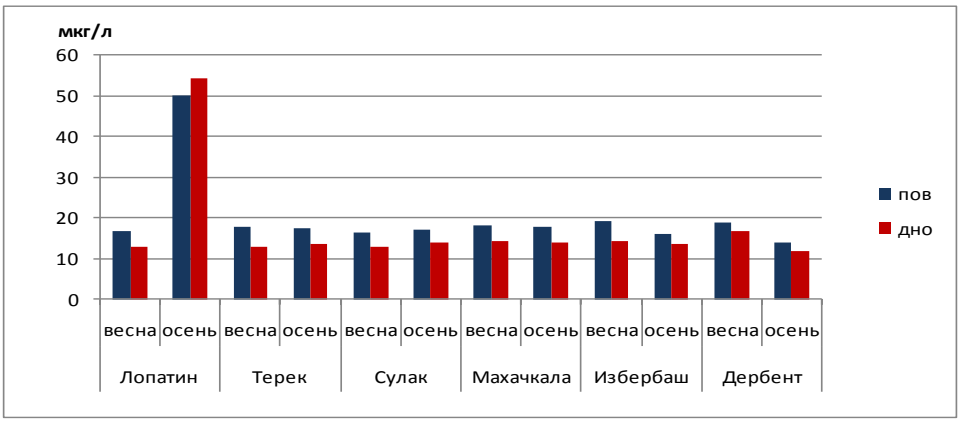



Рисунок 68 – Содержание общего фосфора у дагестанского побережья Среднего Каспия в 2023 г.

В целом за 2023 г. концентрация органического фосфора распределялась по исследуемой акватории (кроме пункта наблюдений Лопатин) достаточно равномерно. За исключением содержания органического фосфора на станции Лопатин, концентрация $P_{орг}$ изменялась от аналитического ноля до 33,90 мкг/л, при этом (за исключением пункта Лопатин) сезонная динамика была выражена слабо. Резкий скачок концентрации на акватории в районе пункта Лопатин до 354,70 мкг/л в сентябре 2023 г. мог быть вызван антропогенным воздействием (таблица 8, рисунок 69).

Изменчивость концентраций общего фосфора и его органической составляющей в 2023 г. были очень высокими (236% и 593% соответственно).

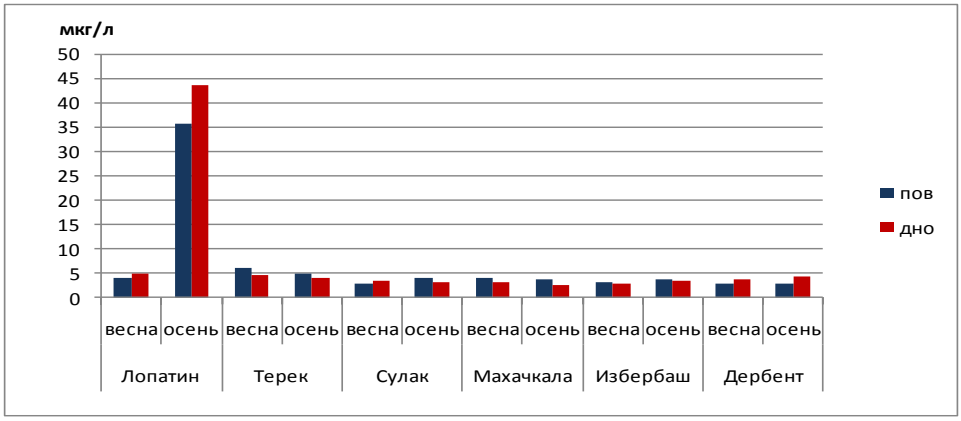
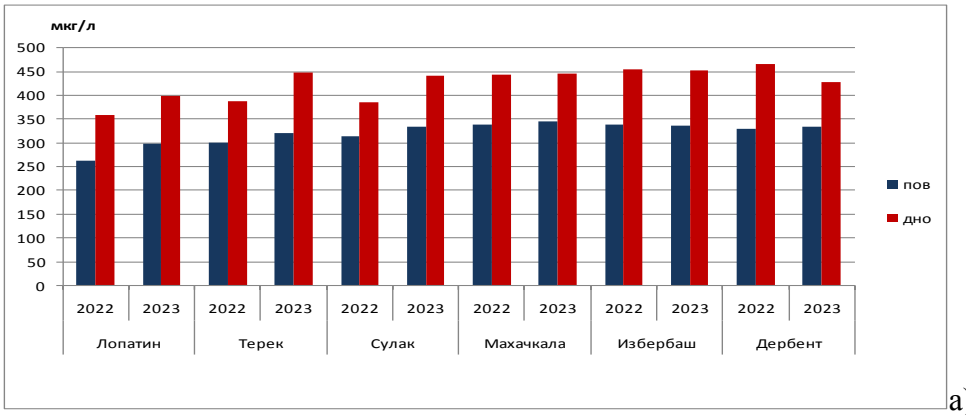
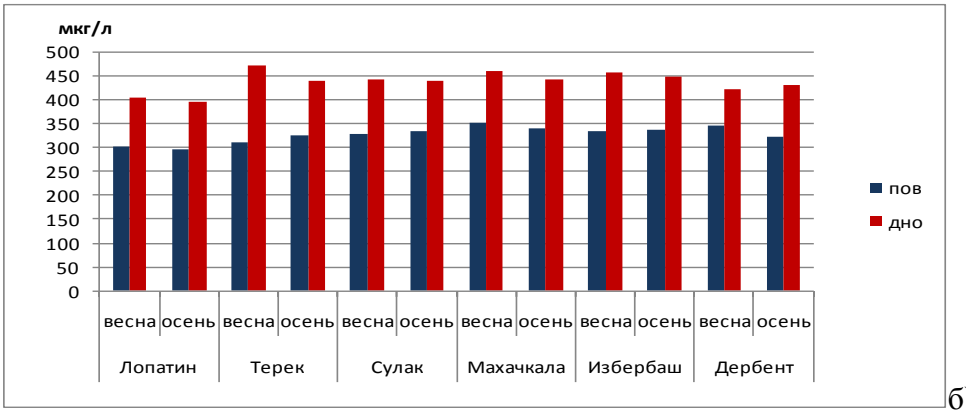



Рисунок 69 – Содержание органического фосфора у дагестанского побережья Среднего Каспия в 2023 г.

Диапазон концентрации кремния составил 249,0-491,0 мкг/л, средние значения весной и осенью представлены на рисунке 70. Содержание кремния в воде Среднего Каспия, также как и содержание других БВ, характеризовалось достаточной равномерностью. Относительно 2022 года в 2023 г. содержание кремния увеличилось на станциях Лопатин – Сулак, южнее, на станциях Махачкала – Дербент, количество кремния в воде практически не изменилось.



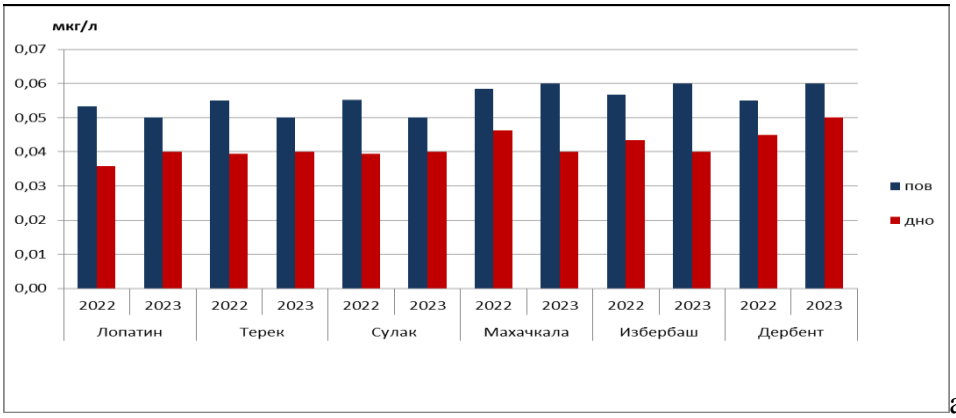

а)



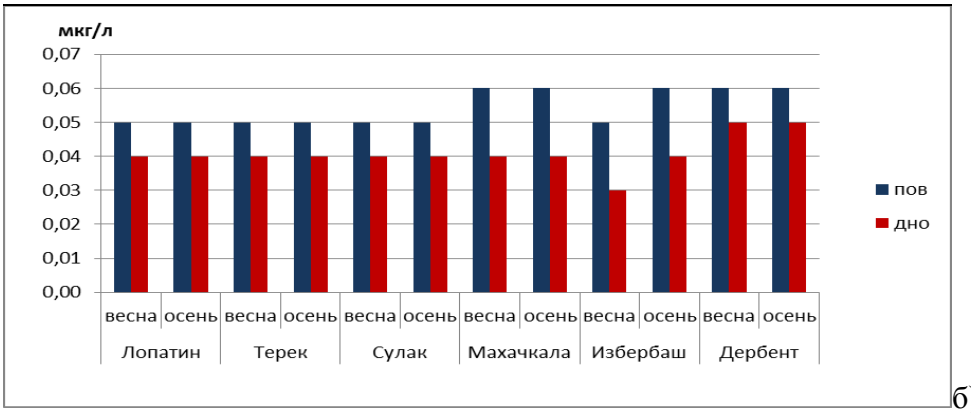
б)

Рисунок 70 – Содержание кремния у дагестанского побережья Среднего Каспия (а – годовая динамика, б – сезонная динамика)

Изменчивость содержания НУ в Среднем Каспии в 2023 г. в соответствии со стандартным отклонением от среднего (1 %) оценивалась как «очень низкая». Относительно 2022 г. концентрация НУ на станциях мониторинга от пункта Лопатин до пункта Сулак снизилась, на станциях в районе Махачкалы в целом практически не изменилась, а в районе Избербаш и Дербент – увеличилась. Содержание НУ в 2023 г. изменялось от 0,03 до 0,07 мг/л (1,4 ПДК), превышения концентрации наблюдались в 21 % проб поверхностного горизонта. Пространственное распределение НУ в 2023 г. было следующим. В поверхностном горизонте пунктов Лопатин, Терек и Сулак средняя концентрация составляла 0,05 мг/л, в придонном горизонте того же района содержание НУ было равно 0,04 мг/л. У поверхности на станциях Махачкала – Дербент средний уровень НУ возрос до 0,06 мг/л (1,2 ПДК), в придонном горизонте средние величины НУ составляли 0,04 и 0,05 мг/л соответственно. Сезонных флуктуаций в динамике НУ практически не наблюдалось, за исключением увеличения концентрации НУ в районе пункта Избербаш в осенний период (рисунок 71).



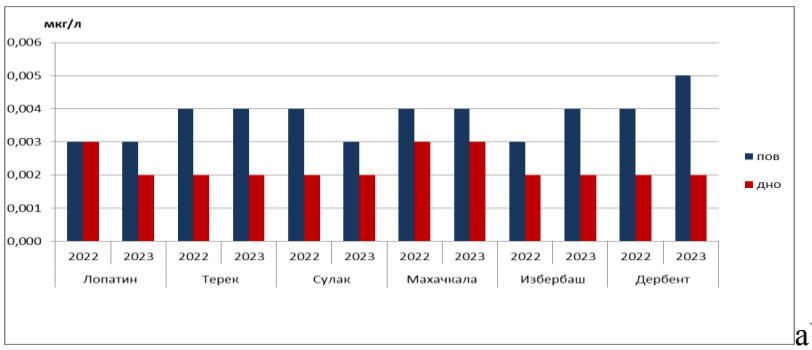
а)



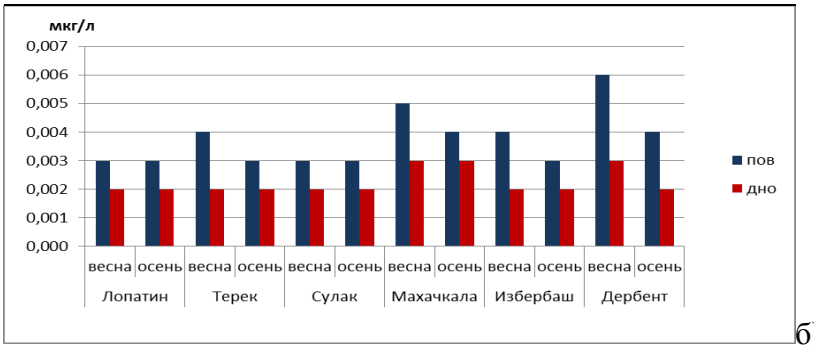
б)

Рисунок 71 – Содержание НУ у дагестанского побережья
Среднего Каспия весной (а – годовая динамика, б – сезонная динамика)

В 2023 г. в водах Среднего Каспия определялось содержание стойких органических загрязнителей: фенолов и СПАВ. В результате анализа установлено, что концентрация фенолов на исследуемой акватории характеризовалась невысокой изменчивостью. На южных станциях мониторинга Избербаш и Дербент отмечено увеличение концентрации фенолов по сравнению с прошлым годом. Диапазон значений концентрации фенолов в 2023 г. составлял 0,001-0,007 мг/л, максимум (0,007 мг/л), зарегистрированный на акватории пункта наблюдений Махачкала весной 2023 г., превысил ПДК в 7 раз, превышения ПДК регистрировались в 98 % проб. В весенний период среднее содержание фенолов в поверхностном и придонном горизонтах стабильно превышало ПДК. На станциях Лопатин и Сулак в поверхностном горизонте фенолы достигали 3 ПДК, а в придонном горизонте – 2 ПДК; на акватории пунктов Терек и Избербаш значения фенолов в поверхностном горизонте составляли 4 ПДК, самое высокое среднее значение за весенний сезон отмечено на станции Дербент (6 ПДК). В осенний период 2023 г. пространственная динамика была выражена слабее, содержание фенолов достигало 4 ПДК в поверхностном горизонте на станциях Махачкала и Дербент, в придонном горизонте уровень фенолов составлял 2-3 ПДК (таблица 8, рисунок 72).



а)



б)

Рисунок 72 – Содержание фенолов у дагестанского побережья Среднего Каспия весной (а – годовая динамика, б – сезонная динамика)

СПАВ определялись в 2023 г. только в осенний период на четырех станциях мониторинга до пункта Махачкала. Наиболее низкие концентрации регистрировались на станции Лопатин, а самые высокие – на станции Махачкала. Временная изменчивость в 2022-2023 гг. была низкой. Превышений ПДК в 2023 г. не регистрировалось. В целом за 2023 г. значения концентрации СПАВ составили диапазон от аналитического ноля до 0,03 мг/л (таблица 8, рисунок 73).

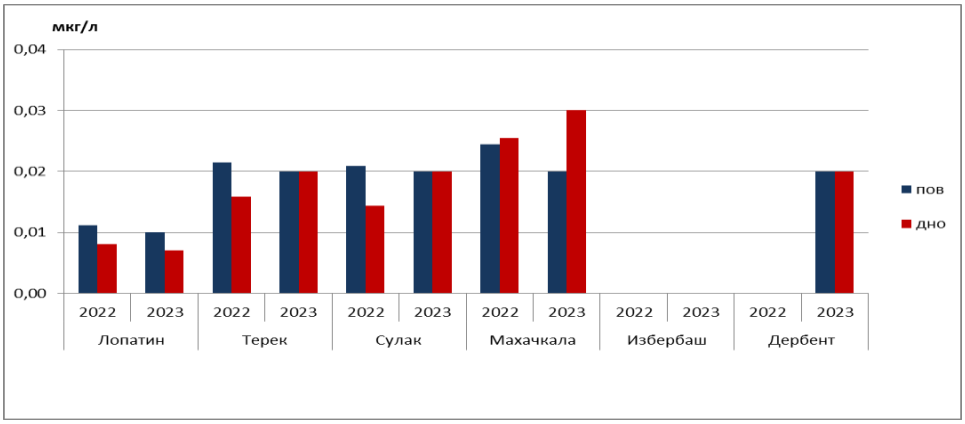
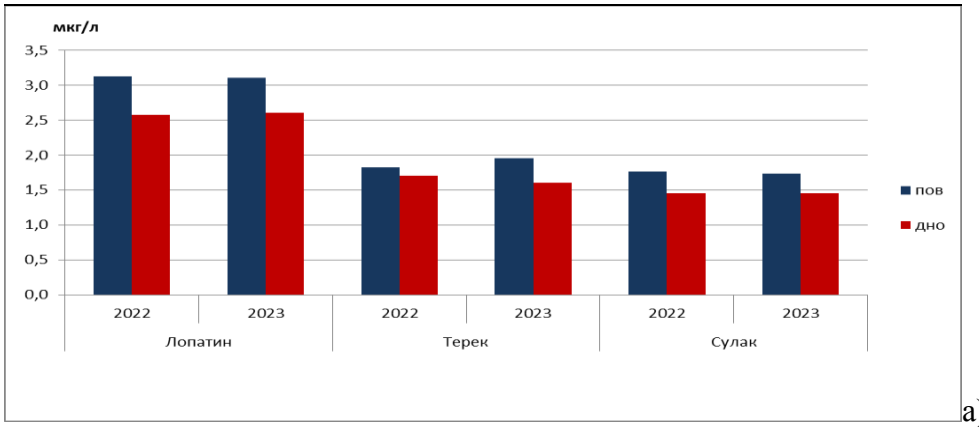
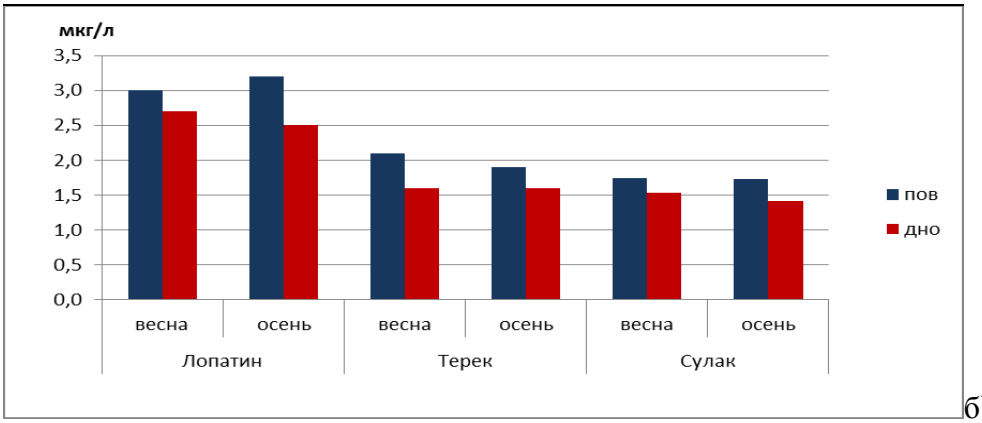



Рисунок 73 – Содержание СПАВ у дагестанского побережья Среднего Каспия в 2022-2023 г.

Количество ТМ определялось на трех станциях на севере Среднего Каспия (Лопатин, Терек, Сулак). Концентрация цинка весной и осенью снижалась в южном направлении, превышений ПДК не выявлено (таблица 8, рисунок 74). В целом за 2023 г. содержание Zn изменялось от 1,0 мкг/л до 3,2 мкг/л и характеризовалось «средней» изменчивостью (стандартное отклонение от среднего составило 49 %).



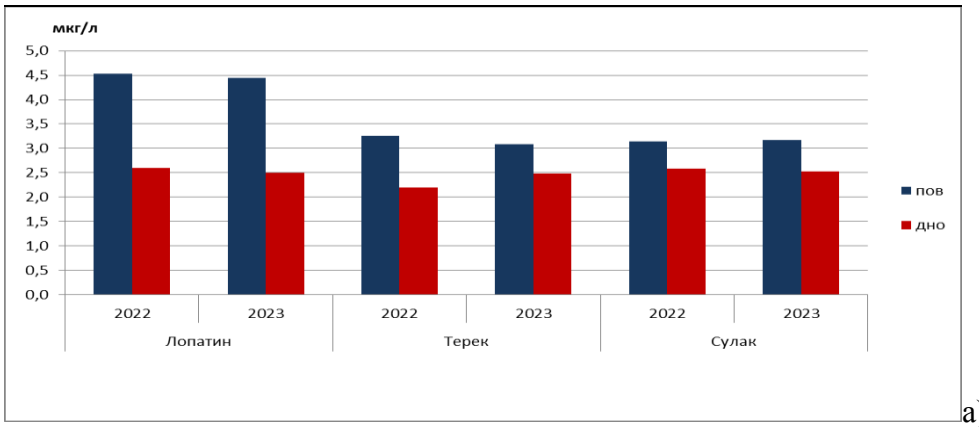

а)



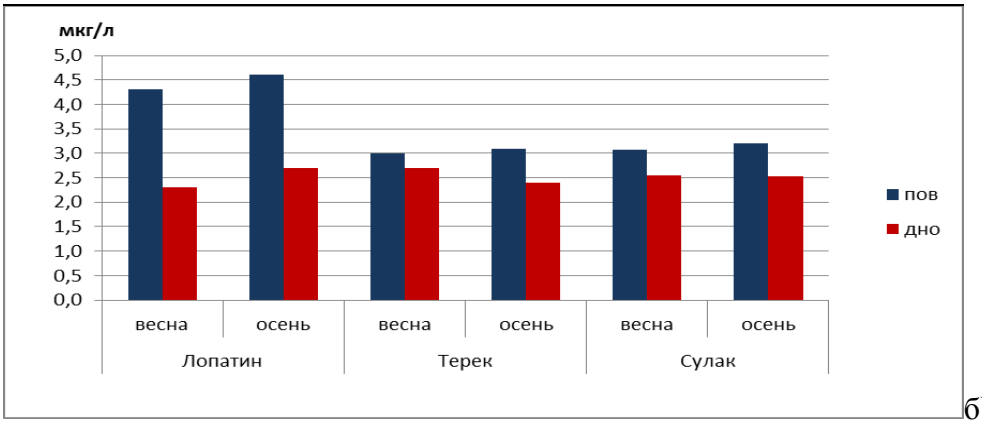

б)

Рисунок 74 – Содержание цинка у дагестанского побережья Среднего Каспия весной (а – годовая динамика, б – сезонная динамика)

Содержание меди в воде Среднего Каспия характеризовалось «средней» изменчивостью (стандартное отклонение от среднего составило 55 %), диапазон концентраций составил 2,2-4,6 мкг/л. Весной и осенью 2023 г. самые высокие средние концентрации отмечались на акватории пункта наблюдений Лопатин, превышений ПДК не выявлено (таблица 8, рисунок 75). Годовые и сезонные колебания концентрации были незначительными.




а)



б)

Рисунок 75 – Содержание меди у дагестанского побережья Среднего Каспия весной (а – годовая динамика, б – сезонная динамика)

Для оценки состояния и загрязнения морской среды в Среднем Каспии использовался индекс загрязненности вод (ИЗВ). В 2023 г. расчет индекса загрязненности акватории пунктов наблюдения Лопатин, Терек и Сулак проводился с использованием значений концентрации растворенного кислорода, НУ, фенолов и меди, а акватория пунктов Махачкала, Избербаш и Дербент оценивалась по уровню растворенного кислорода, НУ, фенолов и аммонийного азота. ИЗВ показал, что воды поверхностного горизонта акваторий станций Лопатин, Терек и Сулак весной и осенью 2023 г. относились к IV классу загрязненных вод, а воды придонного горизонта – к III классу умеренно загрязненных.

Класс качества вод поверхностного горизонта в районе пунктов наблюдений Махачкала, Избербаш и Дербент весной 2023 г. характеризовал исследуемые акватории как «грязные» (V класс), а придонного горизонта – как «загрязненные» (Махачкала) и «умеренно загрязненные» (Избербаш, Дербент). В осенний период класс качества вод изменялся от «загрязненных» к «умеренно загрязненным». Таким образом, можно сделать вывод об ухудшении качества вод Среднего Каспия в южном направлении, где соответственно возрастает и антропогенная нагрузка на акваторию (таблица 9). Во временном аспекте по сравнению с показателями 2022 г. [29] в 2023 г. качество вод ухудшилось в районе станции Махачкала, а так же в весенний период в поверхностном горизонте на станциях Избербаш и Дербент.

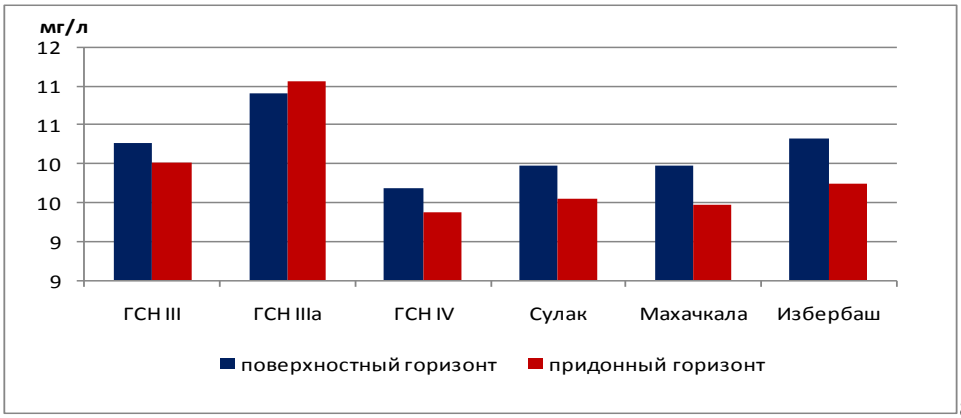
Таблица 9 – Индекс загрязненности вод Среднего Каспия в районе у западного побережья республики Дагестан в 2023 г.

| Разрез | Горизонт | Весна | Осень |
|---|---|---|---|
| Лопатин | поверхностный | 1,4 «загрязненные» (IV класс) | 1,4 «загрязненные» (IV класс) |
| | придонный | 1,1 «умеренно загрязненные» (III класс) | 1,0 «умеренно загрязненные» (III класс) |
| Терек | поверхностный | 1,4 «загрязненные» (IV класс) | 1,4 «загрязненные» (IV класс) |
| | придонный | 0,9 «умеренно загрязненные» (III класс) | 1,0 «умеренно загрязненные» (III класс) |
| Сулак | поверхностный | 1,3 «загрязненные» (IV класс) | 1,4 «загрязненные» (IV класс) |
| | придонный | 0,9 «умеренно загрязненные» (III класс) | 1,0 «умеренно загрязненные» (III класс) |
| Махачкала | поверхностный | 1,8 «грязные» (V класс) | 1,7 «грязные» (V класс) |
| | придонный | 1,3 «загрязненные» (IV класс) | 1,3 «загрязненные» (IV класс) |
| Избербаш | поверхностный | 1,7 «грязные» (V класс) | 1,5 «загрязненные» (IV класс) |
| | придонный | 1,0 «умеренно загрязненные» (III класс) | 1,1 «умеренно загрязненные» (III класс) |
| Дербент | поверхностный | 2,0 «грязные» (V класс) | 1,5 «загрязненные» (IV класс) |
| | придонный | 1,1 «умеренно загрязненные» (III класс) | 1,0 «умеренно загрязненные» (III класс) |

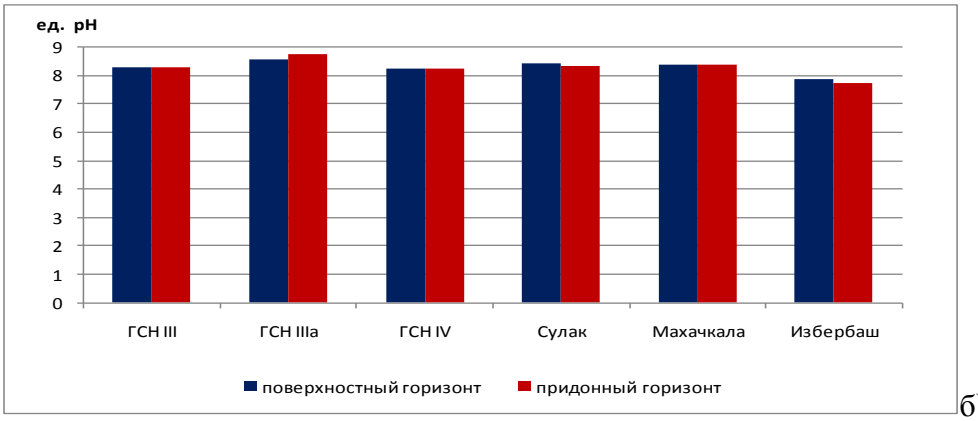
*Пространственная динамика ЗВ в Каспийском море.* В 2023 г. пространственная оценка уровня загрязнения Каспийского моря проводилась на вековых разрезах ГСН III, IIIа, IV и на акватории дагестанского шельфа (пункты наблюдений: Сулак, Махачкала, Избербаш).

Сравнительный анализ содержания кислорода показал, что самые высокие среднегодовые концентрации в поверхностном и придонном горизонте отмечены на станциях ГСН III и IIIа, самые низкие – в районе ГСН IV. От условной границы Северного Каспия к пунктам наблюдения в районе Избербаш содержание кислорода плавно увеличивается. Изменчивость водородного показателя также была крайне низкой (4,5 %)

на всей исследуемой акватории Каспия, самые низкие показатели pH в 2023 г. отмечены на юге (в районе Избербаша) (рисунок 76).




а)



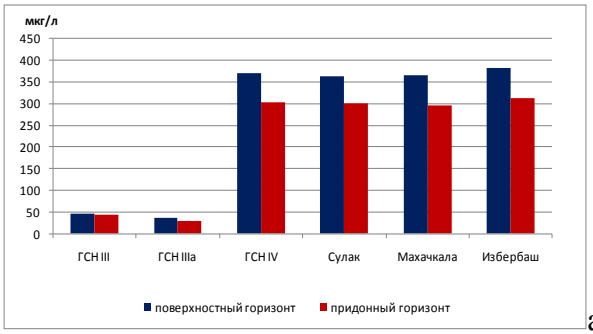

б)

Рисунок 76 – Пространственное распределение кислорода (а) и водородного показателя (б) в Северном и Среднем Каспии в 2023 гг.

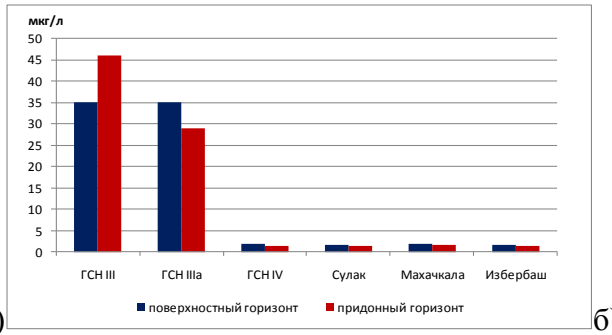
В целом, анализируя общие формы азота и фосфора, можно отметить, что в 2023 г. содержание биогенов в водах акватории Каспийского моря увеличилось по сравнению с 2022 г. Особый интерес в 2023 г. представляет анализ пространственной динамики соединений азота.

Содержание иона аммония в Северном и Среднем Каспии сильно отличалось. Среднегодовые значения, которые в северной части моря не достигали 50 мкг/л, резко увеличились на условной границе Северный Каспий – Средний Каспий в среднем в 8 раз и достигали максимальных значений (399,0 мкг/л) у дагестанского побережья. Концентрация нитритов и нитратов в 2023 г. имела противоположную тенденцию, значения $NO_2$ и $NO_3$, самые высокие на станциях векового разреза ГСН III, снижались в южном направлении. Уровень нитритов в Северном Каспии достигал 46,0 мкг/л (придонный горизонт), на границе со средней частью моря резко снизился в 21 раз, а у западного побережья Среднего Каспия не достигал и 2 мкг/л. Снижение нитратов в южном направлении носило более плавный характер,

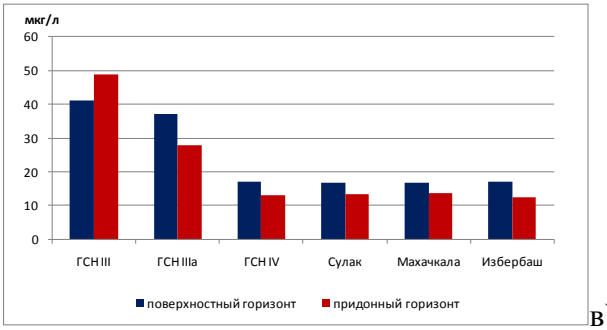
Концентрация $NO_3$ в Среднем Каспии была в 2,5 раза ниже, чем в северной части моря. Пространственное распределение общего и органического азота, представленное на рисунке 77, свидетельствует о противоположной тенденции к увеличению концентрации в южном направлении.



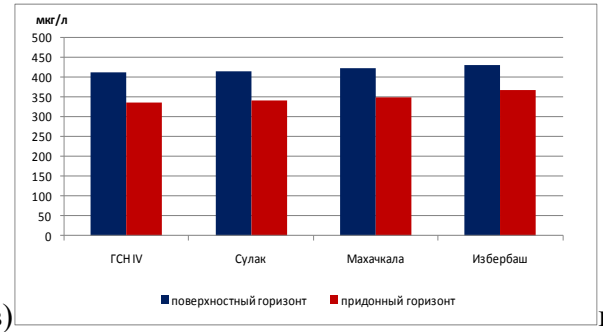
а)



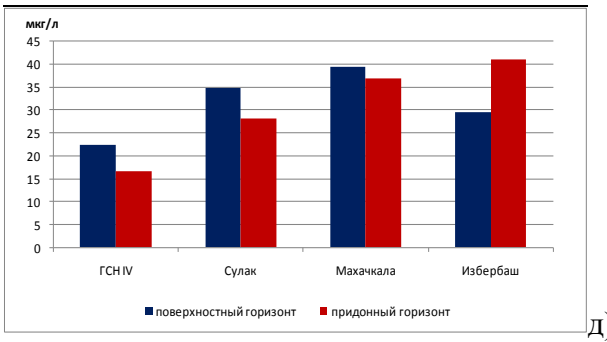
б)



в)



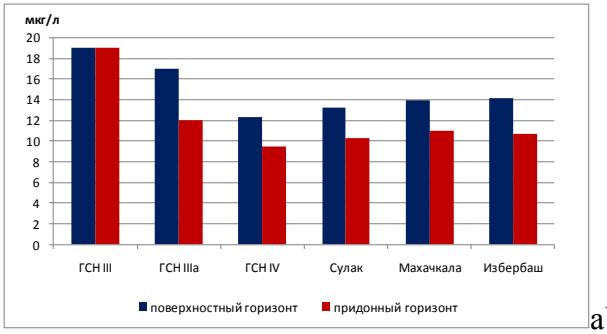
г)



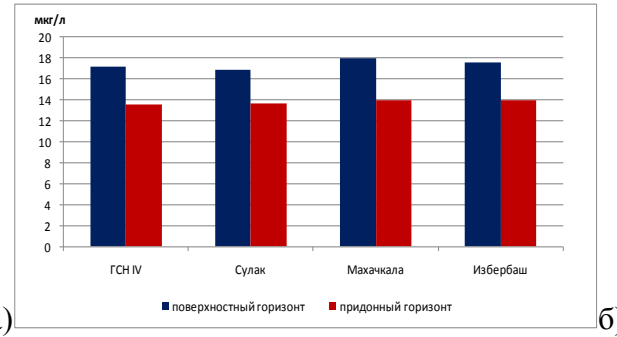
д)

Рисунок 77 – Пространственное распределение соединений азота в Северном и Среднем Каспии в 2023 г. (а – аммонийный азот, б – нитритный азот, в – нитратный азот, г – общий азот, д – органический азот)

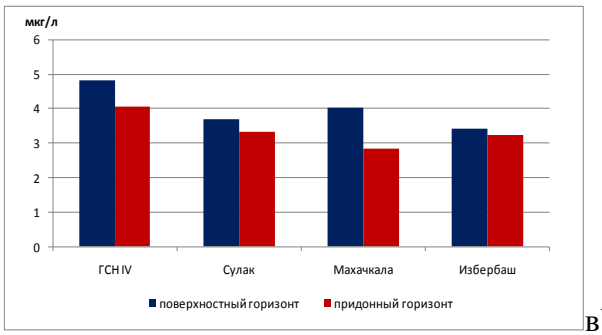
Концентрация минерального фосфора в 2023 г. в северной части моря снижалась по направлению к условной границе со Средним Каспием, а в Среднем Каспии, напротив, незначительно возросла в южном направлении. Общий фосфор имел тенденцию к увеличению в южном направлении от векового разреза ГСН IV до пункта Махачкала (рисунок 78), а значения концентрации органического фосфора, наоборот, снижались к югу. Кроме того, содержание органического фосфора в 2023 г. снизилось и относительно прошлого года.



а)



б)



в)

Рисунок 78 – Пространственное распределение соединений фосфора в Северном и Среднем Каспии в 2022 г. (а – минеральный фосфор, б – общий фосфор, в – органический фосфор)

Количественное соотношение БВ (соотношение А. Редфилда) является определяющим фактором для развития фитопланктона. В среднем соотношение фосфора и азота в морской воде составляет 1:15, такой баланс отражает стехеометрический состав фитопланктона. Из литературных источников известно, что для Каспийского моря характерно соотношение общего фосфора и азота 1:21 – 1:24, однако в последние годы в Каспийском море наблюдалась диспропорция этого соотношения в пользу азота, что в свою очередь может вызвать нарушения в развитии фитопланктона и экосистемы в целом [29, 30]. Азотно-фосфорный баланс в Каспийском море в 2023 г. представлен в таблице 10.

Таблица 10 – Соотношение Рмин:Nмин в водах Северного Каспия и Среднего Каспия в 2023 г.

| Район | 2023 г. |
|---|---|
| ВР ГСН III | 1:7 |
| ВР ГСН IIIа | 1:5 |
| ВР ГСН IV | 1:32 |
| Средний Каспий | 1:28 |

Смещение пропорций элементов в соотношении А. Редфилда (N:P 16:1) влияет на

рост и состав водорослей. Повышение содержания фосфора благоприятно для сине-зеленых водорослей, азота – для зеленых. В Северном Каспии в 2023 г. складываются условия для развития сине-зеленых водорослей. На границе Северного и Среднего Каспия, а также на акватории Среднего Каспия соотношение азота и фосфора может свидетельствовать о благоприятных условиях для развития зеленых водорослей (таблица 7).

Концентрация кремния на акватории Северного Каспия в среднем составила 65,9 мкг/л, в районе условной границы между Северным и Средним Каспием и в Среднем Каспии содержание кремния достигало 385,2 мкг/л, увеличиваясь в южном направлении (рисунок 79).

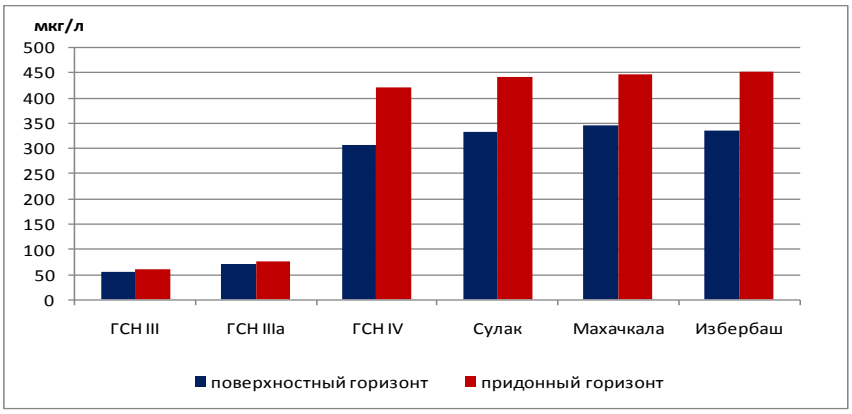
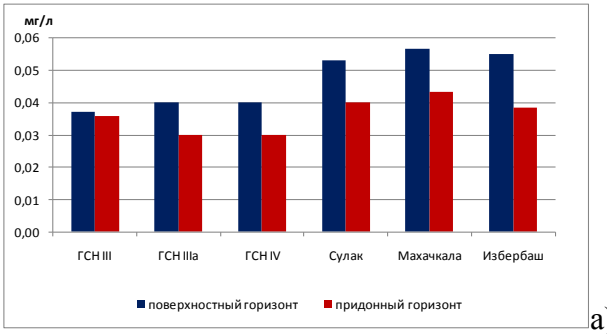
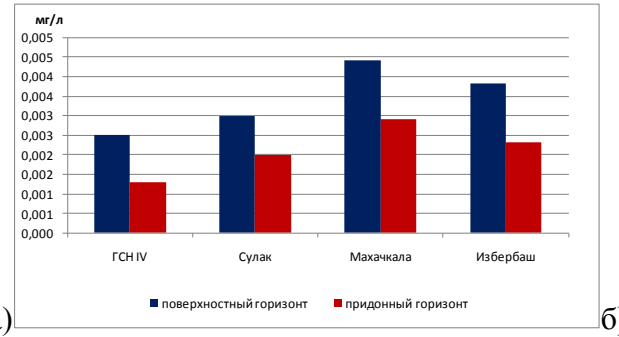



Рисунок 79 – Пространственное распределение кремния в Северном и Среднем Каспии в 2023 г.

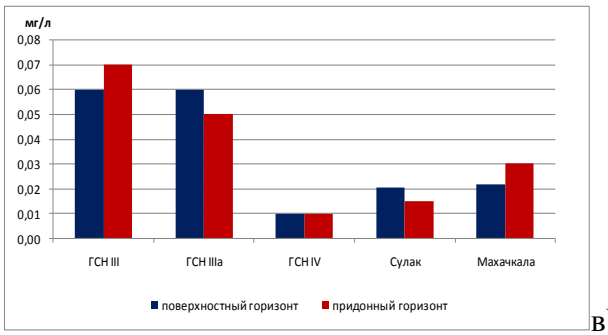
Пространственное распределение НУ, фенолов и СПАВ было следующим. В целом в Северном Каспии, включая район ГСН IV, содержание НУ характеризовалось увеличением концентрации в южном направлении. Средняя по акватории Северного Каспия концентрация НУ была ниже, чем в Среднем Каспии в 1,4 раза. Распределение фенолов носило схожий характер, от границы Северный Каспий – Средний Каспий до пункта наблюдений Махачкала содержание фенолов увеличивалось (рисунок 80). Значения концентрации СПАВ в Северном Каспии снижались с севера на юг к границе со Средним Каспием, а в средней части моря уровень СПАВ возрастал в южном направлении (рисунок 80).



а)



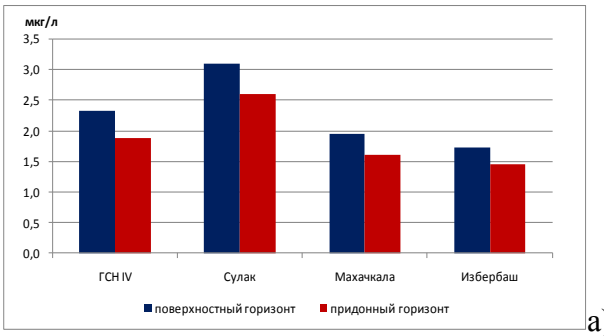
б)



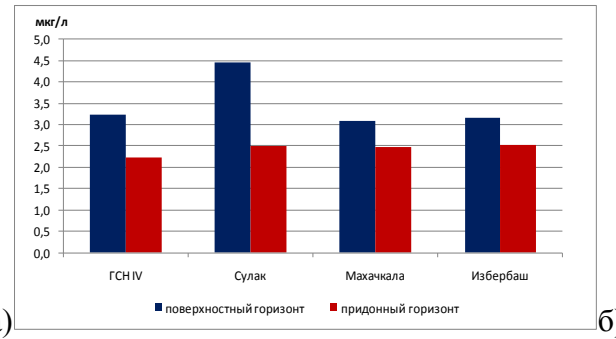
в)

Рисунок 80 – Пространственное распределение НУ, фенолов и СПАВ в Северном и Среднем Каспии в 2023 г. (а – НУ, б – фенолы, в – СПАВ)

Самые высокие значения концентрации ТМ (цинка и меди) по всей акватории Каспийского моря регистрировались в районе Сулака. Южнее этого пункта наблюдений уровень содержания цинка и меди снижался (рисунок 81).



а)



б)

Рисунок 81 – Пространственное распределение цинка и меди в Северном и Среднем Каспии в 2022-2023 гг. (а – цинк, б – медь)

Комплексная оценка индекса загрязненности вод, как и в прошлом году, свидетельствует о возрастании антропогенной нагрузки на экосистему в южном направлении. Наиболее загрязненным районом является район дагестанского шельфа возле Махачкалы, самые благоприятные условия окружающей среды формируются в районе ВР ГСН III и IIIа (рисунок 82). За два последних года прослеживается тенденция к увеличению общего уровня загрязненности на акватории дагестанского шельфа, кроме района Сулака, где ИЗВ незначительно снизился.

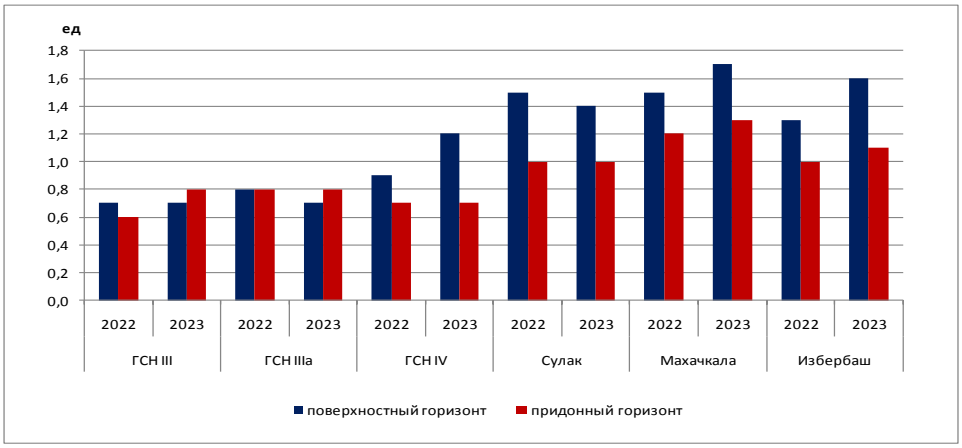



Рисунок 82 – Пространственное распределение ИЗВ в Северном Каспии и Среднем Каспии в 2022-2023 гг.

В соответствии с РД 52.15.880-2019 для оценки загрязненности акватории Каспийского моря по отдельным показателям рекомендуется использовать повторяемость концентраций, превышающих ПДК, и кратность превышения ПДК (таблица 11).

Таблица 11 – Повторяемость и кратность зарегистрированных случаев превышения ПДК в 2023 г.

| Параметр, ед. изм | Район | Нитратный азот | | НУ | | Фенолы | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | пов | дно | пов | дно | пов | дно |
| Повторяемость, % | ВР ГСН III | 46,2 | 46,2 | - | - | - | - |
| | ВР ГСН IV | - | - | 12,5 | - | 100,0 | 25,0 |
| | Лопатин | - | - | 8,3 | - | 100,0 | 91,7 |
| | Терек | - | - | 40,0 | - | 100,0 | 75,0 |
| | Сулак | - | - | 35,0 | - | 100,0 | 75,0 |
| | Махачкала | - | - | 51,7 | - | 100,0 | 100,0 |
| | Избербаш | - | - | 50,0 | - | 100,0 | 100,0 |
| | Дербент | - | - | 50,0 | - | 100,0 | 100,0 |
| Кратность, ед. | ВР ГСН III | 1,5 | 2,8 | - | - | - | - |
| | ВР ГСН IV | - | - | 1,4 | - | 3,0 | 2,0 |
| | Лопатин | - | - | 1,2 | - | 4,0 | 3,0 |
| | Терек | - | - | 1,2 | - | 4,0 | 3,0 |
| | Сулак | - | - | 1,4 | - | 5,0 | 3,0 |
| | Махачкала | - | - | 1,4 | - | 7,0 | 4,0 |
| | Избербаш | - | - | 1,2 | - | 5,0 | 3,0 |
| | Дербент | - | - | 1,2 | - | 6,0 | 3,0 |

В 2023 г. превышения ПДК $NO_3$ регистрировались в районе ВР ГСН III; НУ и фенолы превышали нормативы в районе ВР ГСН IV и в районе дагестанского шельфа. При этом превышения ПДК НУ регистрировались только в поверхностном горизонте,

превышения установленного норматива фенолов выявлены в толще воды практически во всех пробах. Загрязнение $NO_3$ в Северном Каспии по критерию повторяемости оценивалось как «устойчивое», а по критерию кратности – как «низкое» в поверхностном горизонте и «среднее» в придонном горизонте. Загрязненность НУ в районе ВР ГСН IV характеризуется как «неустойчивая», в районе Лопатин – как «единичная», акватория дагестанского шельфа в районе Терека и Сулака по критериям повторяемости превышения ПДК оценивается как «устойчивая». Характерная устойчивость загрязнения свойственна для акватории Каспия в районе Махачкалы и южнее. Кратность превышения ПДК НУ была низкой (< 2). Устойчивость загрязнения фенолами в Каспийском море определялась как «характерная», за исключением акватории придонного горизонта района ВР ГСН IV, где повторяемость указывает на «неустойчивое» загрязнение фенолами. Уровень загрязненности акватории оценивался как «средний». Случаев высокого и экстремально высокого загрязнения в 2023 г. не выявлено [31].

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам работ за период 2020-2024 гг. были подготовлены ежегодные бюллетени о состоянии и загрязнении устьевой области р. Волги и морской среды российского сектора Каспийского моря за 2019-2023 гг., представленные в отчетах по научно-исследовательским работам за 2020-2024 гг., а также опубликованные на официальном сайте ФГБУ «КаспМНИЦ».

Гидрохимические наблюдения за качеством поверхностных вод бассейна р. Волги в 2023 г. проводились на акватории 5 водотоков дельтовой части, на которых функционировали 8 пунктов наблюдений и 15 створов.

Оценка стока ЗВ в Каспийское море в 2023 году демонстрирует тенденцию к снижению стока биогенов и ЗВ, которая была отмечена в 2022 г., однако для отдельных компонентов характерна обратная динамика. В отчетном году по сравнению с 2022 г. снизился сток большинства тяжелых металлов, за исключением хрома и марганца. Сток фенолов в 2023 г. вырос значительно, почти в три раза, что сказалось и на содержании фенолов в водотоках дельты. Количество НУ, поступающих со стоком, по сравнению с прошлым годом не изменилось, а значение стока АПАВ снизилось.

В водотоках дельты в 2023 г. в целом также прослеживается тенденция к снижению концентрации биогенов ($NO_2$ и $NO_3$) и ТМ (Fe, Cu, Zn, Ni, Cr, Hg, Cd), однако, значительное повышение уровня фенолов могло негативно сказаться на качестве воды в водоемах дельты. Динамика УКИЗВ говорит об увеличении нагрузки на водные объекты дельты в отчетном году по сравнению с предшествующим годом. Наиболее высокое значение индекса зафиксировано в районе гидрологического поста Подчалык. В целом класс качества водотоков дельты р. Волга с севера на юг изменяется от «загрязненных» к «слабозагрязненным».

Оценка качества морской среды Северного Каспия в 2023 г. проводилась по результатам государственного экологического мониторинга, включавшего наблюдения за состоянием и загрязнением окружающей среды на вековых океанографических разрезах ГСН III, IIIа и IV, а также на стационарных пунктах наблюдений в районе дагестанского шельфа (Лопатин, Терек, Сулак, Махачкала, Избербаш, Дербент).

Определение качества воды исследуемой акватории по комплексным показателям проводилось в соответствии с рекомендациями Росгидромета с использованием ИЗВ.

Расчет индекса загрязненности в отчетном году показал, что воды поверхностного горизонта Северного Каспия в исследуемых районах относятся ко II классу качества вод

«чистые», а придонного – к III классу «умеренно-загрязненные». По сравнению с 2022 г. уровень загрязненности в придонном горизонте увеличился.

Согласно рассчитанному индексу ИЗВ можно сделать вывод об ухудшении качества вод Среднего Каспия в южном направлении, где, соответственно, возрастает и антропогенная нагрузка на акваторию. Наиболее приоритетными ЗВ в Каспийском море в 2023 г. остаются НУ и фенолы.

Пространственный анализ содержания ЗВ в Каспийском море показал увеличение концентрации НУ и фенолов в южном направлении, пространственная динамика СПАВ в Северном и Среднем Каспии была различной: концентрация СПАВ до условной границы Северный Каспий – Средний Каспий снижается, а южнее границы возрастает. Уровень ТМ, напротив, снижается с севера на юг. Наибольшая антропогенная нагрузка на экосистему Каспия наблюдается у дагестанского шельфа в районе пункта Махачкала.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. РД 52.15.880-2019 «Руководство по организации и проведению наблюдений, оценке состояния и загрязнения морской среды в районах разведки и разработки морских нефтегазовых месторождений». – URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293724/4293724612.pdf (дата обращения 15.04.2020).

2. РД 52.24.643-2002 «Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям». – URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293831/4293831806.pdf (дата обращения 24.11.2023).

3. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 N 74-ФЗ (ред. от 04.08.2023) – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_60683/ (дата обращения 19.12.2023).

4. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 30 июля 2020 г. N 524 «Об утверждении требований к проведению наблюдений за состоянием окружающей среды, ее загрязнением» – URL: https://base.garant.ru/75048136/ (дата обращения 19.12.2022).

5. Обзор тенденции и динамики загрязнения устьевой области Волги за период 1978-2018 гг. / Отв. ред. Е.В. Островская. – Астрахань, 2020. – 121 с.

6. Федеральный закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/1de21f3d2f646b12715a2629b5593f44edd1717f/ (дата обращения 19.12.2023).

7. Панин Г.Н., Мамедов Р.М., Митрофанов И.В. Современное состояние Каспийского моря. – М.: Наука, 2005. – 355 с.

8. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году. – URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/?PAGEN_2=2 (дата обращения 05.11.2024).

9. Устьевая область Волги: гидролого-морфологические процессы, режим загрязняющих веществ и влияние колебаний уровня Каспийского моря / В.Ф. Полонский, В.Н. Михайлов, С.В. Кирьянов и др. – М.: ГЕОС, 1998. – 278 с.

10. Обзор состояния и загрязнения морской среды северо-западной части Каспийского моря в 2012 году. – URL: http://www.caspianmonitoring.ru/biblioteka/obzory/ (дата обращения 06.07.2024).

11. Обзор состояния и загрязнения морской среды северо-западной части Каспийского моря в 2013 году. – URL: http://www.caspianmonitoring.ru/biblioteka/obzory/ (дата обращения 06.07.2024).

12. Обзор состояния и загрязнения морской среды северо-западной части Каспийского моря в 2014 году. – URL: http://www.caspianmonitoring.ru/biblioteka/obzory/ (дата обращения 06.07.2024).

13. Проблемы загрязнения устьевой области Волги / Отв. ред. Е.В. Островская. – Астрахань: Издатель: Сорокин Роман Васильевич, 2021. – 328 с.

14. Матишов Г.Г., Денисов В.В. Экосистемы и биоресурсы европейских морей России на рубеже XX и XXI веков. – Мурманск: ООО «МИП-999», 1999. – 124 с.

15. Загрязняющие вещества в водах Волжско-Каспийского бассейна / Отв. ред. В.Ф. Бреховских, Е.В. Островская. – Астрахань: Издатель: Сорокин Роман Васильевич, 2017. – 406 с.

16. Найденко В.В. Великая Волга на рубеже тысячелетий: От экологического кризиса к устойчивому развитию. – Н.Новгород: Промграфика, 2003. – 432 с.

17. Устьевые экосистемы крупных рек России: Антропогенная нагрузка и экологическое состояние / В.А. Брызгало, А.М. Никаноров, Л.С. Косменко, О.С. Решетняк. Ростов-на-Дону: Изд. Южного федерального университета, 2015. – 164 с.

18. Никаноров А.М. Региональная гидрохимия: учебное пособие. Ростов-на-Дону: НОК, 2011. – 388 с.

19. Каспийское море: Гидрология и гидрохимия / Отв. ред. С.С. Байдин, А.Н. Косарев. – Москва: Наука, 1986. – 263 с.

20. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. – Том 34. – 1994. – N 5. – С. 735-747.

21. Гурский Ю.Н., Лисицин А.П., Геохимические особенности процессов на нижнем этаже маргинального фильтра река - море // ДАН. – 2011. – N 3. – С. 368-376.

22. Баркелиев Т. Главные экологические проблемы Каспийского моря. – М: Книга сервис, 2002. – 96 с.

23. Киселев А.В. Экологическая характеристика отдельных регионов Каспийского моря. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2008. – 96 с.

24. Курапов А.А., Попова Н.В., Островская Е.В. Экологическая безопасность нефтяных операций на мелководном шельфе. Международная практика и опыт российских компаний. – Астрахань: «Новая артель», 2006. – 266 с.

25. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13.12.2016 N 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». – URL: https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minselhoza-Rossii-ot-13.12.2016-N-552/ (дата обращения 21.05.2024).

26. РД 52.24.309-2016 «Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши» – URL: https://docs.cntd.ru/document/495872993 (дата обращения 06.11.2024).

27. Обедиентова Г.В. Эррозионные циклы и формирование долины Волги. – М.: Наука, 1977. – 239 с.

28. Бюллетень о состоянии и загрязнении устьевой области Волги за 2021 г. – URL: http://www.caspianmonitoring.ru/wp-content/uploads/2022/.pdf (дата обращения 06.07.2024).

29. Бюллетень о состоянии и загрязнении устьевой области р. Волга и морской среды российского сектора Каспийского моря за 2022 год. – URL: http://www.caspianmonitoring.ru/wp-content/uploads/2023/.pdf (дата обращения 06.07.2024).

30. Катунин Д.Н., Насонова Т.С., Урманова Л.Н. Многолетняя динамика и соотношение азота и фосфора в водах Северного Каспия // Тр. ВНИРО. – Т. CXXXIII. – 1979. – С. 7-16.

31. Приказ Росгидромета от 31.10.2000 N 156 «О введении в действие Порядка подготовки и представления информации общего назначения о загрязнении окружающей природной среды» – URL: https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=373312#c6U5syTf2jgoXY5Q (дата обращения 10.10.2024).

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А1 – Средние значения показателей состояния и загрязнения дельты р. Волги в 2022-2023 гг.

| Показатель | Верхнее Лебяжье | | ПОС | | ЦКК | | Кривая Болда | | Подчалык | | Камызяк | | Ильинка | | Красный Яр | | ПДК |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2022 | 2023 | 2022 | 2023 | 2022 | 2023 | 2022 | 2023 | 2022 | 2023 | 2022 | 2023 | 2022 | 2023 | 2022 | 2023 | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| Температура, $^{o}$C | 14,04 | 14,58 | 13,82 | 14,08 | 15,47 | 15,83 | 14,54 | 14,12 | 12,15 | 15,27 | 13,95 | 14,10 | 15,55 | 14,38 | 13,65 | 14,79 | - |
| Взвешенные вещества, мг/л | 14,04 | 18,17 | 12,76 | 14,41 | 14,12 | 16,28 | 13,54 | 19,24 | 13,26 | 14,68 | 12,81 | 17,94 | 13,79 | 15,21 | 15,31 | 20,70 | 10,0 |
| pH, ед. pH | 8,20 | 8,10 | 8,13 | 8,10 | 8,16 | 8,15 | 8,27 | 8,12 | 8,19 | 8,11 | 8,19 | 8,14 | 8,16 | 8,69 | 8,20 | 8,22 | 6,5-8,5 |
| Растворенный кислород, мг/л | 10,30 | 9,68 | 10,36 | 10,02 | 10,08 | 9,65 | 10,72 | 9,59 | 10,69 | 9,73 | 10,52 | 10,02 | 9,99 | 9,08 | 10,40 | 9,89 | 6,0 |
| Степень насыщения кислородом, % | 98,23 | 93,43 | 97,98 | 95,25 | 99,37 | 95,77 | 104,17 | 91,20 | 97,36 | 90,36 | 100,48 | 95,92 | 98,46 | 106,27 | 98,06 | 96,03 | - |
| Углекислый газ, мг/л | 1,98 | 2,04 | 1,93 | 1,90 | 1,92 | 1,89 | 1,83 | 2,23 | 2,13 | 2,23 | 1,99 | 2,06 | 1,81 | 1,93 | 2,11 | 2,00 | - |
| Магний, мг/л | 10,98 | 11,87 | 10,66 | 11,73 | 11,12 | 11,47 | 11,28 | 11,94 | 11,86 | 11,70 | 11,17 | 11,55 | 11,67 | 14,10 | 11,49 | 11,80 | - |
| Хлориды, мг/л | 34,10 | 32,90 | 34,35 | 33,38 | 34,63 | 33,49 | 34,50 | 33,76 | 33,21 | 33,36 | 33,94 | 33,17 | 34,81 | 35,05 | 34,46 | 33,01 | - |
| Сульфаты, мг/л | 65,97 | 63,79 | 67,49 | 63,99 | 68,73 | 63,21 | 67,91 | 62,92 | 66,56 | 63,81 | 67,35 | 62,12 | 67,38 | 61,90 | 65,53 | 64,29 | - |
| Сумма ионов, мг/л | 325,3 | 313,4 | 329,5 | 313,7 | 332,7 | - | 333,2 | 313,7 | 312,2 | 314,2 | 329,7 | 311,1 | 332,4 | 308,8 | 328,2 | 314,7 | - |
| Жёсткость, мг-экв/л | 3,48 | 3,51 | 3,45 | 3,51 | 3,50 | 3,53 | 3,50 | 3,52 | 3,46 | 3,49 | 3,50 | 3,49 | 3,48 | 3,42 | 3,47 | 3,49 | - |
| Гидрокарбонаты, мг/л | 134,6 | 131,2 | 135,6 | 130,5 | 136,3 | - | 137,7 | 131,4 | 132,4 | 131,1 | 136,5 | 130,8 | 137,7 | 127,0 | 136,7 | 131,4 | - |
| Кальций, мг/л | 51,66 | 50,78 | 51,66 | 50,92 | 51,76 | 51,78 | 51,68 | 50,75 | 49,56 | 50,56 | 51,69 | 50,83 | 50,73 | 49,39 | 50,65 | 50,52 | - |
| ХПК, мг/л | 22,63 | 25,97 | 22,22 | 28,21 | 22,35 | 27,51 | 20,78 | 28,87 | 22,36 | 25,95 | 21,61 | 29,94 | 22,51 | 26,05 | 22,11 | 28,16 | 15,0 |
| $БПК_5$, мгО/л | 1,52 | 1,50 | 1,33 | 1,50 | 1,36 | 1,40 | 1,32 | 1,45 | 1,61 | 1,64 | 1,39 | 1,26 | 1,30 | 1,49 | 1,48 | 1,41 | 2,10 |
| Азот аммонийный, мг/л | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,50 |
| Нитритный азот, мг/л | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,08 |
| Нитратный азот, мг/л | 0,22 | 0,06 | 0,19 | 0,06 | 0,25 | 0,07 | 0,28 | 0,07 | 0,24 | 0,06 | 0,23 | 0,06 | 0,22 | 0,05 | 0,27 | 0,06 | 40,0 |
| Азот суммарный минеральный, мг/л | 0,26 | 0,09 | 0,22 | 0,10 | 0,28 | 0,10 | 0,32 | 0,09 | 0,27 | 0,09 | 0,27 | 0,10 | 0,26 | 0,04 | 0,29 | 0,09 | - |

Продолжение таблицы А1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Фосфор фосфатов, мг/л Р | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,03 | 0,02 | 0,03 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,05 |
| Кремний, мг/л Si | 5,81 | 5,46 | 5,53 | 5,36 | 5,27 | 5,41 | 5,12 | 4,98 | 5,39 | 5,58 | 4,90 | 4,99 | 5,92 | 4,93 | 5,32 | 5,14 | - |
| Электропроводность | 454,4 | 445,6 | 446,7 | 440,5 | 457,1 | | 451,6 | 439,9 | 430,9 | 429,9 | 452,2 | 446,8 | 454,6 | 438,3 | 444,2 | 442,4 | - |
| Железо общее, мг/л | 0,09 | 0,06 | 0,15 | 0,06 | 0,11 | 0,07 | 0,10 | 0,07 | 0,10 | 0,07 | 0,13 | 0,07 | 0,15 | 0,08 | 0,11 | 0,07 | 0,10 |
| Медь, мкг/л | 1,70 | 1,05 | 2,36 | 1,55 | 2,13 | 1,35 | 2,24 | 1,15 | 1,95 | 1,64 | 2,07 | 1,11 | 2,06 | 1,83 | 1,72 | 1,51 | 1,0 |
| Цинк, мкг/л | 35,89 | 31,12 | 38,63 | 29,74 | 40,51 | 33,28 | 35,91 | 33,13 | 35,37 | 51,17 | 32,69 | 22,28 | 34,63 | 30,54 | 34,65 | 33,18 | 10,0 |
| Никель, мкг/л | 3,23 | 1,79 | 3,57 | 2,19 | 3,39 | 2,12 | 3,20 | 2,06 | 3,35 | 2,19 | 3,01 | 2,02 | 8,85 | 2,27 | 3,07 | 1,98 | 10,0 |
| Хром общий, мкг/л | 0,31 | 0,40 | 0,31 | 0,37 | 0,34 | 0,37 | 0,38 | 0,36 | 0,34 | 0,60 | 0,33 | 0,46 | 0,26 | 0,36 | 0,30 | 0,49 | - |
| Свинец, мкг/л | 0,39 | 0,41 | 0,45 | 0,47 | 0,36 | 0,43 | 0,38 | 0,45 | 0,41 | 0,42 | 0,36 | 0,43 | 0,45 | 0,57 | 0,40 | 0,42 | 6,0 |
| Молибден, мкг/л | 1,04 | 0,88 | 1,08 | 0,80 | 1,23 | 0,96 | 1,32 | 1,11 | 1,31 | 0,96 | 1,16 | 0,86 | 1,06 | - | 1,30 | 1,04 | - |
| Кобальт, мкг/л | 1,31 | 0,61 | 1,19 | 0,64 | 1,28 | 0,68 | 1,14 | 0,61 | 1,20 | 0,55 | 1,18 | 0,60 | 1,20 | 0,55 | 1,30 | 0,66 | - |
| Ртуть, мкг/л | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Кадмий, мкг/л | 0,11 | 0,07 | 0,12 | 0,09 | 0,12 | 0,10 | 0,15 | 0,08 | 0,13 | 0,08 | 0,13 | 0,09 | 0,15 | 0,10 | 0,11 | 0,09 | 5,0 |
| Олово, мкг/л | 0,81 | 0,63 | 0,72 | 0,64 | 0,81 | 0,68 | 0,78 | 0,64 | 0,83 | 0,74 | 0,82 | 0,65 | 0,71 | 0,67 | 0,76 | 0,69 | - |
| Марганец, мкг/л | 3,62 | 3,81 | 5,77 | 5,35 | 5,23 | 4,64 | 4,00 | 5,99 | 4,77 | 6,15 | 5,32 | 4,60 | 3,76 | 3,85 | 6,15 | 4,18 | 10,0 |
| Фенолы, мг/л | 0,001 | 0,003 | 0,002 | 0,004 | 0,002 | 0,003 | 0,002 | 0,003 | 0,002 | 0,004 | 0,001 | 0,003 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,003 | 0,001 |
| НУ, мг/л | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,05 | 0,07 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| АПАВ, мг/л | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,04 | 0,06 | 0,03 | 0,50 |
| Сульфиды и H2S, мг/л | 0,008 | 0,001 | 0,008 | 0,001 | 0,008 | 0,001 | 0,009 | 0,001 | 0,008 | 0,001 | 0,008 | 0,001 | 0,008 | 0,001 | 0,008 | 0,001 | - |
| пп/-ДДЭ, мкг/л | 0,001 | 0,000 | - | - | 0,002 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | - | - | 0,001 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,002 | 0,000 | - |
| пп/-ДДТ, мкг/л | 0,001 | 0,001 | - | - | 0,002 | 0,001 | 0,002 | 0,001 | - | - | 0,001 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,002 | 0,000 | - |
| λ - ГХЦГ,мкг/л | 0,000 | 0,000 | - | - | 0,001 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | - | - | 0,001 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | - |
| γ - ГХЦГ,мкг/л | 0,001 | 0,000 | - | - | 0,001 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | - | - | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | - |
| Натрий+калий мг/л | 26,90 | 22,50 | 28,87 | 22,76 | 29,03 | 22,61 | 28,91 | 22,63 | 26,78 | 23,37 | 27,89 | 22,26 | 29,12 | 23,55 | 28,09 | 23,36 | - |
| УКИЗВ | 1,63 | 1,57 | 1,80 | 1,58 | 1,84 | 1,65 | 1,68 | 1,65 | 1,65 | 1,92 | 1,62 | 1,47 | 1,71 | 1,65 | 1,63 | 1,72 | - |