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 2022 ГОД

Астрахань, 2023

РЕФЕРАТ

Отчет 70 с., 1 кн., 59 рис., 13 табл., 22 источн., 1 прил.

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

Предметом исследований является сток загрязняющих веществ р. Волги, состояние и уровень загрязнения поверхностных вод водотоков дельты р. Волги и морской среды устьевого взморья р. Волги. Исследования выполнены на основе данных наблюдений на гидрологическом посту Верхнелебяжье, на вековых разрезах государственной наблюдательной сети Росгидромета на акватории Северного и Среднего Каспия. 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 2022 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 2022 год, в которых представлены комплексная оценка стока загрязняющих веществ р. Волги в Каспийское море и уровня загрязнения морской среды в 2022 году.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……...……. 9
1. Материалы исследования и методы оценки качества вод……..... 10
2 Оценка стока загрязняющих веществ р. Волги в Каспийское море в 2021 году….. 14
3 Состояние и загрязнение дельты р. Волги в 2022 г……...…….. 17
4 Состояние и загрязнение морской среды устьевой области р. Волги…..…… 30
ЗАКЛЮЧЕНИЕ……...……..... 64
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ……..... 66
ПРИЛОЖЕНИЕ А……...……... 69

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].

Водоем – водный объект в углублении суши, характеризующийся замедленным движением воды или полным его отсутствием [3].

Водоток – водный объект, характеризующийся движением воды в направлении уклона в углублении земной поверхности [3].

Гидрологический пост – пункты стационарных гидрологических наблюдений, прикрепленные к гидрологическим станциям, производят стандартные, т. е. регламентированные, наблюдения за основными элементами гидрологического режима [4].

Гидрологический режим – совокупность закономерно повторяющихся изменений состояния водного объекта, присущих ему и отличающих его от других водных объектов [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].

Дельта реки – сформировавшаяся в результате современных процессов

		дельтообразования часть устьевой области реки (устьевого участка реки), включающая верхнюю, подверженную руслоформирующей деятельности речного потока, толщу устьевого конуса выноса реки и надводную аллювиальную сушу, обычно имеющую сложную и изменчивую гидрографическую сеть и специфический «дельтовый» ландшафт [5].
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].
Загрязнение водных объектов	–	сброс или поступление иным способом в водные объекты (поверхностные и подземные), а также образование в них вредных веществ, которые ухудшают качество вод, ограничивают их использование либо негативно влияют на состояние дна и берегов водных объектов; антропогенное привнесение в водную экосистему различных загрязняющих веществ, воздействие которых на живые организмы превышает природный уровень, вызывая их угнетение, деградацию и гибель [3].
Качество воды	–	характеристика состава и свойств воды, определяющая пригодность ее для конкретных видов водопользования [6].
Качество окружающей среды	–	состояние окружающей среды, которое характеризуется физическими, химическими, биологическими и иными показателями и (или) их совокупностью [6].
Кратность загрязнения	–	характеристика загрязнения вод, определяющаяся кратностью превышения ПДК [1].
Межень	–	фаза водного режима реки, ежегодно повторяющаяся в одни и те же сезоны, характеризующаяся малой водностью, длительным стоянием низкого уровня, и возникающая вследствие уменьшения питания реки [7].
Морской край дельты	–	линия, оконтуривающая дельту со стороны моря и

разделяющая устьевой участок реки и устьевое взморье [5].

Объем стока – объем воды, стекающий с водосбора за какой-либо интервал времени [5].

Половодье – фаза водного режима реки, ежегодно повторяющаяся в данных климатических условиях в один и тот же сезон, характеризующаяся наибольшей водностью, высоким и длительным подъемом уровня воды, и вызываемая снеготаянием или совместным таянием снега и ледников [5].

Сток речной – сток, происходящий по речной сети [7].

Устойчивость загрязнения – характеристика загрязнения вод, выражающаяся в процентах, определяющая количество проб, в которых обнаружено достижение или превышение ПДК [1].

Устьевое взморье – особый географический объект, охватывающий район впадения реки в приемный водоем (море); формирующийся под влиянием специфических устьевых процессов – динамического взаимодействия и смешения вод реки и приемного водоема, отложения и переотложения речных и морских наносов [8].

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

В настоящем отчёте о НИР применяют следующие сокращения и обозначения

АПАВ	–	анионные поверхностно-активные вещества
БВ	–	биогенные вещества
$БПК_5$	–	биологическое потребление кислорода (5 суток)
ВЛ	–	гидрологический пост Верхнее Лебяжье
ВО	–	водный объект
ВР	–	вековой разрез
г.	–	год
Гидропост	–	гидрологический пост
ГСН	–	Государственная сеть наблюдений
ГХЦГ	–	гексахлорциклогексан
ГЭС	–	гидроэлектростанция
ДДД	–	дихлордифенилдихлорэтан
ДДТ	–	дихлордифенилтрихлорэтан
ДДЭ	–	дихлордифенилдихлорэтилен
дно	–	придонный горизонт
ед. изм.	–	единица измерения
ЗВ	–	загрязняющее вещество
ИЗВ	–	индекс загрязненности вод
км	–	километр
КХА	–	количественный химический анализ
м	–	метр
макс	–	максимум
мин	–	минимум
Nмин	–	азот минеральный
Рмин	–	фосфор минеральный
МКД	–	морской край дельты
НУ	–	нефтяные углеводороды
ПДК	–	предельно допустимая концентрация
пов.	–	поверхностный горизонт
ПОС	–	правобережные очистные сооружения
р.	–	река

РД	–	Руководящий документ
Росгидромет	–	Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
рук.	–	рукав
СПАВ	–	синтетические поверхностно-активные вещества
ср. знач.	–	среднее значение
ТМ	–	тяжелые металлы
тыс. т	–	тысяч тонн
УКИЗВ	–	удельный комбинаторный индекс загрязненности вод
УО	–	устьевая область
ХОП	–	хлорорганические пестициды
ХПК	–	химическое потребление кислорода
ЦКК	–	целлюлозно-картонный комбинат
α-, β-, γ-ГХЦГ	–	изомеры гексахлорциклогексана

ВВЕДЕНИЕ

Устьевая область (УО) р. Волга, включающая эндемичную экосистему северной части Каспийского моря, является уникальным природным комплексом, имеющим высокую экологическую значимость.

Ряд таких факторов, как изолированность бассейна Каспийского моря от Мирового океана, неоднородность рельефа дна, расположение на границе зон умеренных и субтропических широт, вместе со сложными условиями формирования процессов циркуляции воды и осадкообразования, большая протяженность в меридиональном направлении, сложность орографии предопределяют многообразие местных особенностей. Еще одним важным фактором формирования гидрохимического режима устьевой области является трансформация химического состава воды на геохимическом барьере «река-море» и высокая активность «живого вещества» [5, 9-15]. Бессточность Каспия определяет значительное влияние впадающих в море рек. В западной части в Каспийское море впадают крупные реки Европейской территории России и Кавказа, такие как Волга, Терек, Сулак и др. Наиболее значительный вклад в экосистему моря вносит сток р. Волга [8].

Современное хозяйственное использование Нижней Волги и Каспийского моря, а также необходимость решения природоохранных задач в этом регионе предъявляют возрастающие требования к гидрологическим и гидрохимическим характеристикам водных объектов (ВО). Это ставит в число приоритетных задачу изучения динамики объемов стока воды, химических показателей воды и донных отложений, водных биоценозов с целью оценки их изменений [16, 17].

Современное состояние бассейна Волги характеризуется целым комплексом взаимосвязанных социальных, экономических и экологических проблем. В течение многих десятилетий здесь концентрировался основной промышленный, энергетический и сельскохозяйственный потенциал страны и шла интенсивная урбанизация территории. Слабо учитывались реальные возможности адаптации экологических систем бассейна к высоким антропогенным нагрузкам. Сточные воды, поступающие с территории Волгоградской и Астраханской областей, оказывают значительное влияние на загрязнение Нижней Волги. Влияние природных и антропогенных факторов среды приводит к заметным изменениям гидрохимического режима водотоков дельты и устьевого взморья р. Волга [16].

1 МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОД

В 2022 г. оценка состояния и загрязнения устьевой области (УО) дельты р. Волги проводились на основании режимных наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши и морской воды, осуществляемых оперативно-производственными подразделениями Росгидромета в рамках государственного мониторинга состояния поверхностных вод.

Наблюдения проводились на стационарных гидрологических постах (гидропост) в водотоках дельты, на вековых океанографических разрезах государственной сети наблюдений в Каспийском море (ВР ГСН III, IIIа и IV), а также на морских гидрометеорологических станциях западного побережья Республики Дагестан (Лопатин, Терек, Сулак, Махачкала, Избербаш, Дербент).

В УО р. Волга, включающей участок реки от вершины дельты (гидропост Верхнее Лебяжье) до морского края дельты (МКД), различают зоны верхней, средней и нижней дельты. Режимные наблюдения за загрязнением поверхностных вод суши проводятся на 8 постах, расположенных в верхней и средней зонах дельты р. Волга. В нижней зоне посты наблюдений за загрязнением вод отсутствуют. Наблюдения ведутся в соответствии с РД 52.24.309-2016 «Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши» [18].

Принадлежность стационарных пунктов наблюдений за химическим составом вод к различным районам устьевой области р. Волга представлена в таблице 1 и на рисунке 1 [5].

Таблица 1 – Районирование дельты р. Волга

Район	Наименование пункта наблюдений	Наименование водотока
Вершина дельты	ВЛ (с. Верхнее Лебяжье)	р. Волга
Верхняя зона, западная часть	ЦКК (г. Астрахань)	р. Волга
	ПОС (г. Астрахань)	р. Волга
	рук. Кривая Болда (г. Астрахань)	рук. Кривая Болда
Верхняя зона, восточная часть	Подчалык (с. Подчалык)	пр. Кигач
Средняя зона, западная часть	Ильинка (пос. Ильинка)	р. Волга
	Камызяк (г. Камызяк)	рук. Камызяк
Средняя зона, восточная часть	с. Красный Яр	рук. Бузан

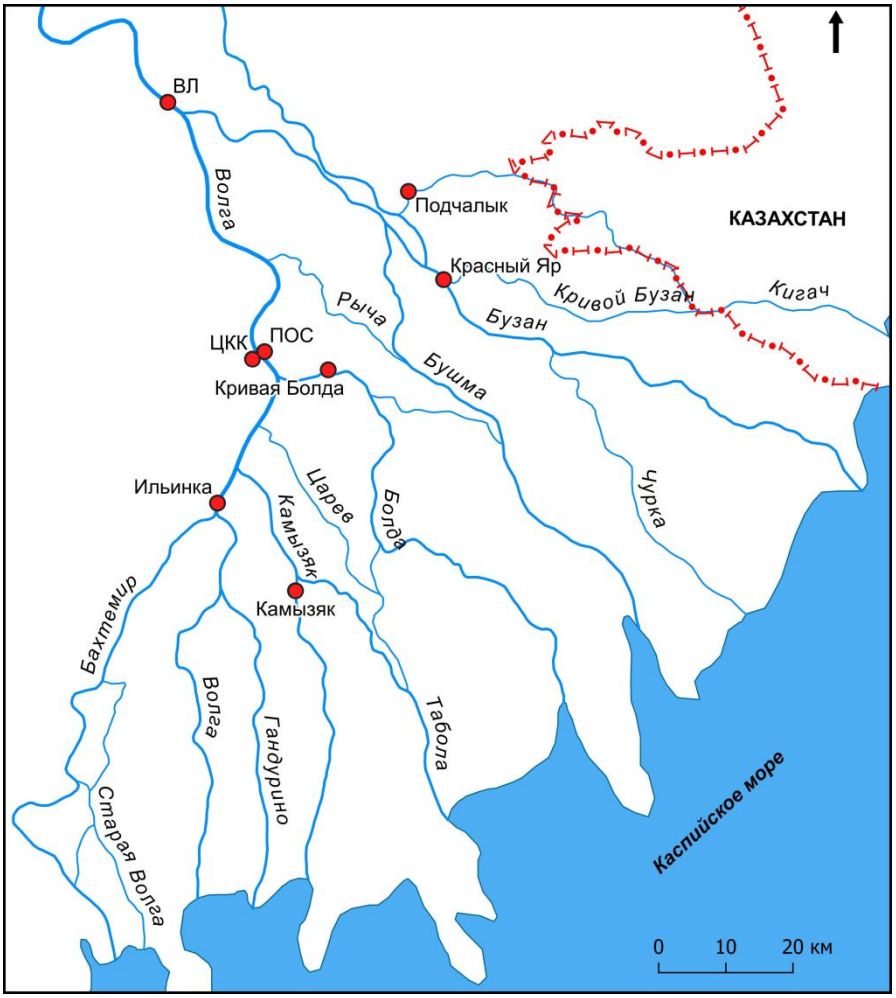


Рисунок 1 – Пункты наблюдений за гидрохимическими показателями в дельте р. Волга

Наблюдения на морских станциях в 2022 г. проводились в период с марта по ноябрь. Экспедиционными исследованиями в открытом море, в том числе в отмелой и приглубой зонах [8], было охвачено 10 станций вековых разрезов и 30 пунктов наблюдений вдоль западного побережья Республики Дагенстан, экспедиции проводились 2 раза в год: в период половодья и в период летне-осенней межени (рисунок 2, 3).

Всего в ходе наблюдений в дельте р. Волга в 2022 г. определялось 43 показателя химического состава и загрязненности речных вод (приложение А), из которых 20 показателей нормируются в рыбохозяйственных водоемах России [19].

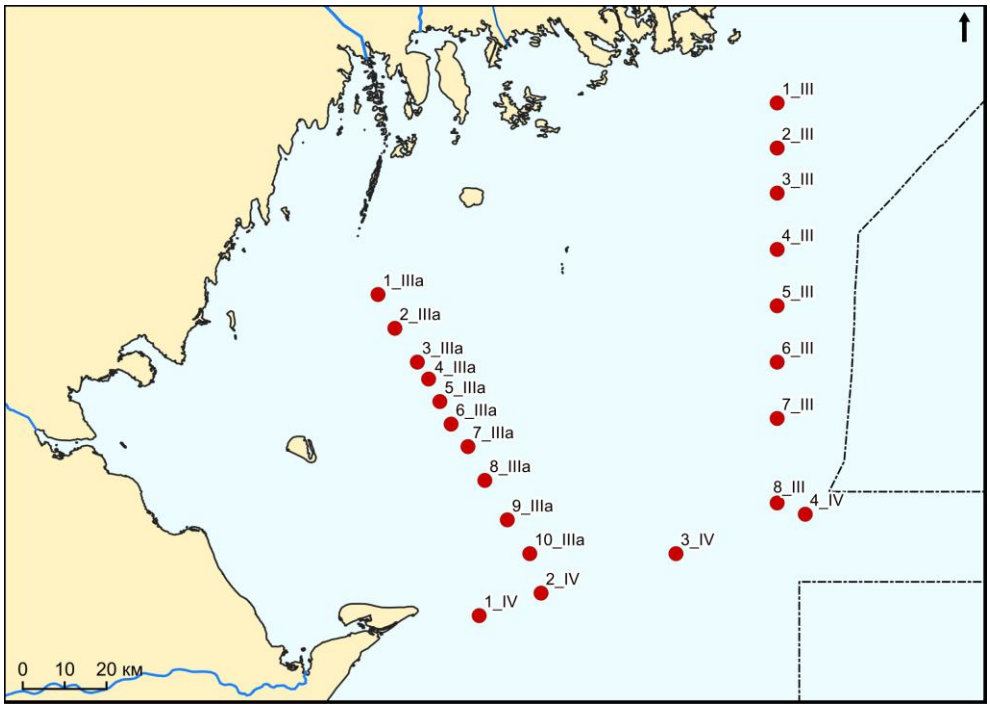


Рисунок 2 – Вековые разрезы государственной сети наблюдений в Северном Каспии

Рисунок 3 – Пункты наблюдений за состоянием и загрязнением морской среды Каспийского моря

Анализ динамики качества поверхностных вод дельты р. Волга представлен на основе статистической обработки данных государственной наблюдательной сети Росгидромета за загрязнением поверхностных вод суши (по гидрохимическим показателям) в 2022 г. по наиболее характерным для каждого водного объекта показателям.

Оценка стока ЗВ р. Волга в Каспийское море выполнена на основе данных наблюдений на гидропосту ВЛ (рисунок 1). Гидропост ВЛ расположен в вершине дельты р. Волга, в месте отделения от основного русла левого крупного дельтового рукава – Бузана, в 50 км выше г. Астрахань [5].

Для ориентировочной оценки стока растворенных ЗВ в Каспийское море использованы следующие данные:

– средняя за рассматриваемый период концентрация загрязняющих веществ (C_i) в водах средней зоны дельты (в связи с отсутствием данных по нижней зоне);

– средний за рассматриваемый период сток воды (W), рассчитанный на основании данных наблюдений за расходами воды в вершине дельты (потери воды в дельте не учитывали).

Расчет стока растворенных загрязняющих веществ (P_i) проводили по формуле:

$$P_i = C_i * W,$$

где W – объем стока воды из устьевой области р. Волги в вершине дельты, км^3;

C_i – средняя концентрация ЗВ в воде устьевой области, мг/л.

Для оценки состояния экосистемы Каспийского моря использовались методы, рекомендуемые Росгидрометом, в том числе определение качества воды по комплексному показателю индекса загрязненности вод (ИЗВ) (таблица 2) [1].

Таблица 2 – Оценка качества морских вод с использованием ИЗВ

Класс качества морских вод		Диапазон значений ИЗВ
Очень чистые	I	ИЗВ ≤ 0,25
Чистые	II	0,25 < ИЗВ ≤ 0,75
Умеренно загрязненные	III	0,75 < ИЗВ ≤ 1,25
Загрязненные	IV	1,25 < ИЗВ ≤ 1,75
Грязные	V	1,75 < ИЗВ ≤ 3,00
Очень грязные	VI	3,00 < ИЗВ ≤ 5,00
Чрезвычайно грязные	VII	ИЗВ > 5,00

2 ОЦЕНКА СТОКА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ Р. ВОЛГИ В КАСПИЙСКОЕ МОРЕ В 2021 ГОДУ

Устьевая область Волги, которая включает одну из крупнейших в мире дельт и обширное устьевое взморье, является уникальным географическим объектом, богатым природными ресурсами и полезными ископаемыми. Здесь интегрируются все естественные и антропогенные изменения стока и качества речных вод бассейна р. Волга, кроме того, здесь проявляются изменения режима Каспийского моря. Через устье Волги проходит транзитом сток реки, определяющий водный и солевой баланс значительной части моря. Взаимосвязанные гидролого-морфологические процессы, процессы переноса и трансформации загрязняющих веществ играют ключевую роль в формировании экологических условий устьевой области р. Волги (рисунок 4).

Рисунок 4 – Устьевая область р. Волга

Одним из источников ЗВ в открытой части Северного Каспия является сток р. Волга, влияние которого распространяется практически на всю западную часть Северного Каспия. Вместе с речными водами в море выносится большое количество ЗВ, объем которых существенно увеличивается в многоводные годы.

Оценка стока ЗВ р. Волги в Каспийское море (таблица 3) выполнена на основе данных наблюдений на гидропосту Верхнее Лебяжье. Водный годовой сток по гидропосту Верхнее Лебяжье в 2022 г. составил 212,29 км^3, что значительно ниже среднеклиматической нормы (240 км^3), в 2021 г. этот показатель составил 208,35 км^3.

Таблица 3 – Сток загрязняющих веществ р. Волги (ВЛ) в 2021-2022 гг.

Показатели	2021 г.	2022 г.
Взвешенные вещества, тыс. т	6388,86	2980,76
Гидрокарбонаты, тыс. т	31448,56	28581,88
Азот аммонийный, тыс. т	1,93	4,67
Нитритный азот, тыс. т	0,60	2,55
Нитратный азот, тыс. т	38,46	47,55
Азот суммарный минеральный, тыс. т	40,99	54,77
Фосфор минеральный, тыс. т	3,57	6,37
Кремний, тыс. т	3287,12	1233,62
Железо, тыс. т	34,37	18,89
Медь, тыс. т	0,46	0,36
Цинк, тыс. т	10,52	7,62
Никель, тыс. т	1,30	0,69
Хром общий, тыс. т	0,06	0,07
Свинец, тыс. т	0,10	0,08
Молибден, тыс. т	0,27	0,22
Кобальт, тыс. т	0,29	0,28
Ртуть, т	3,87	2,34
Кадмий, тыс. т	0,01	0,02
Олово, тыс. т	0,13	0,17
Марганец, тыс. т	0,71	0,77
Фенолы, тыс. т	0,15	0,21
НУ, тыс. т	13,26	10,61
АПАВ, тыс. т	10,86	10,83
ДДЭ, тыс. т	0,29	0,21
ДДТ, тыс. т	0,30	0,21
α-ГХЦГ, т	0,12	0
γ-ГХЦГ, т	0,25	0,21

Установлено, что по сравнению с предыдущим в отчетном году увеличился сток минерального азота (аммонийной, нитритной и нитратной форм) и минерального фосфора. Наиболее резкое возрастание стока наблюдалось у нитритного азота (в 4,3 раза). Высокое содержание растворенных БВ в стоке может быть признаком процессов эвтрофикации выше по течению. Незначительно (в 1,4 раза) увеличился сток фенолов.

Сток АПАВ остался на прошлогоднем уровне.

Сток большинства тяжелых металлов (ТМ) снизился. Исключение составили хром, кадмий, олово, марганец. Также наблюдалось сокращение стока нефтяных углеводородов (НУ) и хлорорганических пестицидов (ХОП).

3 СОСТОЯНИЕ И ЗАГРЯЗНЕНИЕ УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ Р. ВОЛГИ ЗА 2021 Г.

Среднегодовая температура воды в водотоках дельты в 2022 г. относительно прошлого года снизилась на 1-2 °С (рисунок 5). Наиболее значительная разница в среднегодовой температуре наблюдается в пр. Кигач (с. Подчалык).

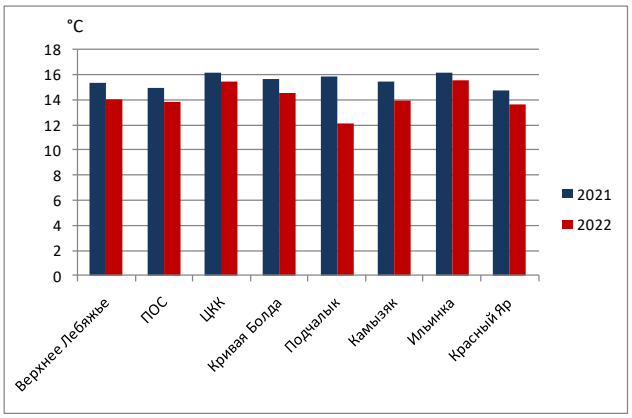


Рисунок 5 – Среднегодовая температура в 2021-2022 гг.

Среди исследуемых показателей качества воды особое значение имеет кислород. Среднее значение растворенного в воде кислорода в границах исследуемой акватории было значительно выше установленного норматива (6,0 мгO_2/л) (рисунок 6, приложение А). Экстремальные уровни содержания кислорода в 2022 г. были зафиксированы в июле на гидропостах Верхнее Лебяжье, Красный Яр, Ильинка, Камызяк (7,5-7,8 мгO_2/л). Средняя концентрация растворенного кислорода в дельте р. Волга колебалась от 9,99 мгO_2/л (Ильинка) до 10,79 мгO_2/л (Красный Яр). Степень насыщения вод кислородом водотоков по расчетным данным составила от 97 % (Подчалык) до 104 % (Кривая Болда).

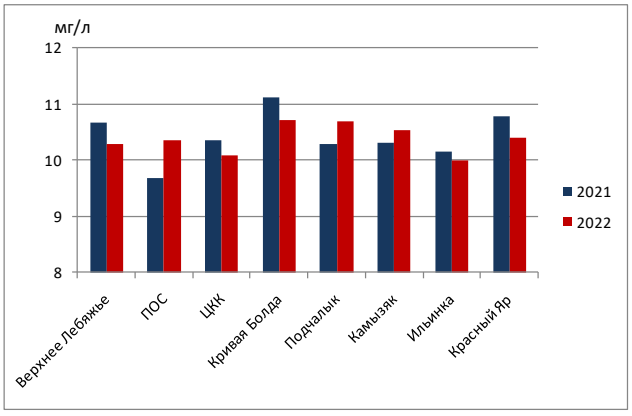


Рисунок 6 – Уровень растворенного кислорода в 2021-2022 гг.

Интенсивность биохимических процессов потребления кислорода в водотоках дельты в 2022 г. относительно предшествующего года снизилась. Наибольшие значения $БПК_5$ в 2022 г. (1,2-1,4 ПДК) зафиксированы в октябре на гидропосту Верхнее Лебяжье и Красный Яр, а также в апреле в водах рук. Камызяк (рисунок 7, приложение А), где уровень потребления кислорода достигал 1,1 ПДК.

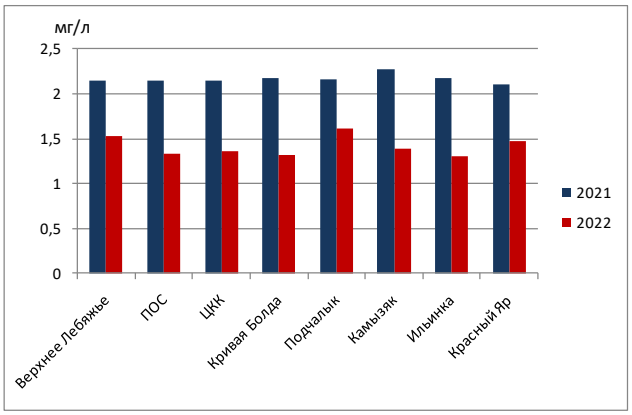


Рисунок 7 – Уровень $БПК_5$ в 2021-2022 гг.

Общая доля органики в воде определялась методом ХПК. По всем водотокам ХПК превышало допустимый уровень (15 мг/л) в среднем в 1,5 раза (рисунок 8, приложение А), анализ воды на стационарных постах демонстрирует стабильное, но незначительное снижение этого показателя относительно предыдущего года. Распределение ХПК было однородным. Наибольшие значения зафиксированы в июле на пунктах наблюдения ВЛ, с. Красный Яр, пос. Ильинка, в рук Камызяк, с. Подчалык и в рук Кривая Болда (2 ПДК).

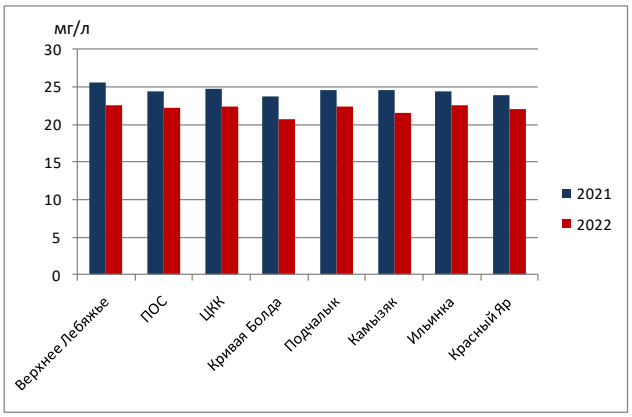


Рисунок 8 – Уровень ХПК в 2021-2022 гг.

В 2022 г. изменения водородного показателя в большинстве створов наблюдения были незначительны. Резкое увеличение pH наблюдалось в июне на всех гидропостах,

самое высокое значение зарегистрировано в рук. Бузан (8,94 ед. pH). Снижение водородного показателя отмечалось в зимние и осенние месяцы, самым низким значением было значение 7,59 ед. pH в пр. Кигач в ноябре. В течение всего периода наблюдений в водах дельты сохранялась слабощелочная среда, в среднем уровень pH в водотоках дельты составил 8,03-8,27 ед. pH (рисунок 9, приложение А).

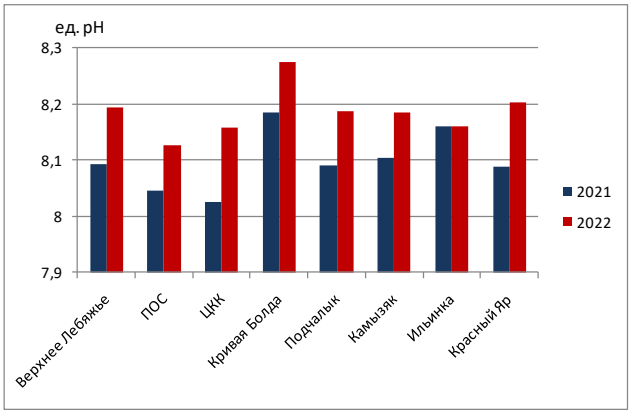


Рисунок 9 – Водородный показатель в 2021-2022 гг.

Количество взвешенных веществ в 2022 г. относительно предыдущего года в среднем по всем водотокам снизилось в 2 раза (рисунок 10, приложение А). Наибольшие значения (3-3,4 ПДК) наблюдались в водотоках в июле и августе, максимальное значение зарегистрировано на гидрологическом посту Верхнее Лебяжье, где количество взвеси достигало максимального значения 3,4 ПДК в августе. Наименьшее содержание взвеси регистрировалось в верхней зоне западной части дельты (ПОС, ЦКК) в феврале и марте.

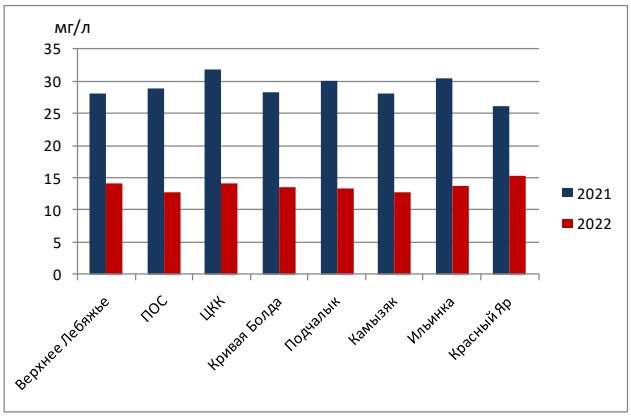
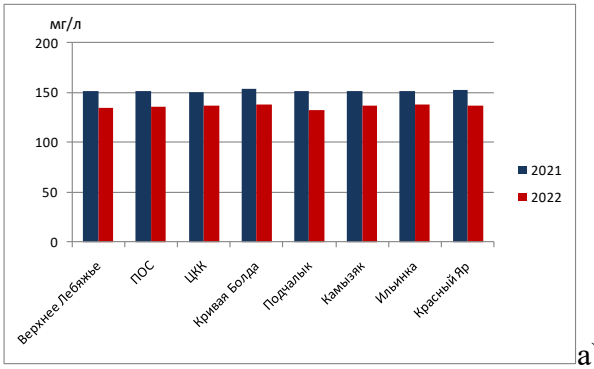


Рисунок 10 – Взвешенные вещества в 2021-2022 гг.

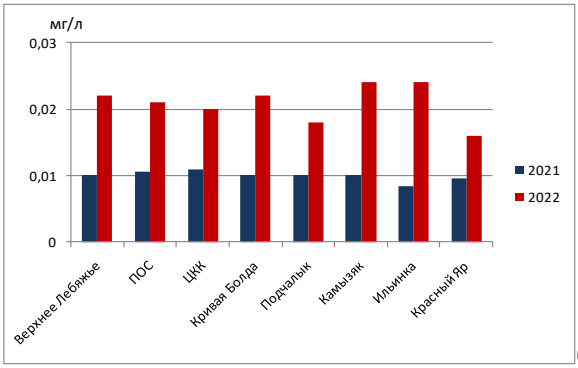
В 2022 г. для всех водотоков дельты р. Волги было характерно снижение

содержания гидрокарбонатов (рисунок 11, приложение А). При этом самые высокие значения гидрокарбонатов наблюдались на гидропостах Камызяк и Ильинка в апреле. На всех гидропостах (кроме наблюдательного пункта Подчалык, где максимальное содержание гидрокарбонатов регистрировалось в феврале) с апреля к концу года наблюдается тенденция к снижению концентрации гидрокарбонатов, несмотря на то, что пик половодья в 2022 году был зафиксирован в мае. Распределение концентрации гидрокарбонатов по водотокам дельты было однородным.

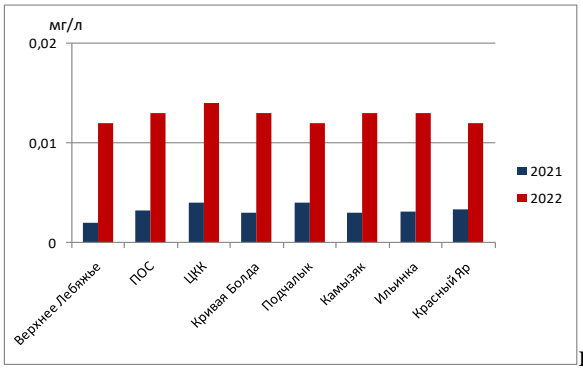
Концентрация аммонийного азота в 2022 г. была в 1,7-2,8 раза выше прошлогоднего уровня, наиболее резкое увеличение NH_4 отмечено на гидропосту Ильинка (рисунок 11). Годовая динамика показала, что наибольшие значения иона аммония по всем водным объектам наблюдается в августе. Пространственное распределение NH_4 в дельте было однородным, средняя концентрация составила 0,02 мг/л, однако в августе на всех гидропостах произошел скачек концентрации до 0,06 мг/л.



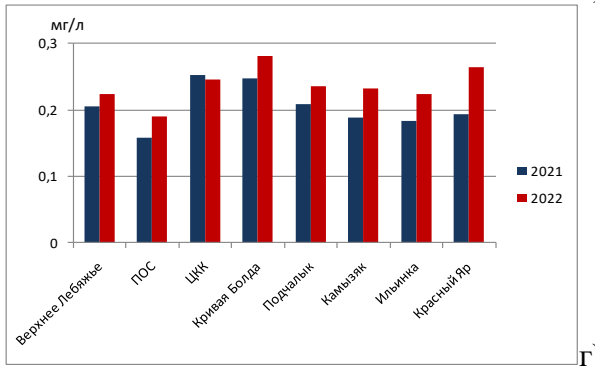
а)



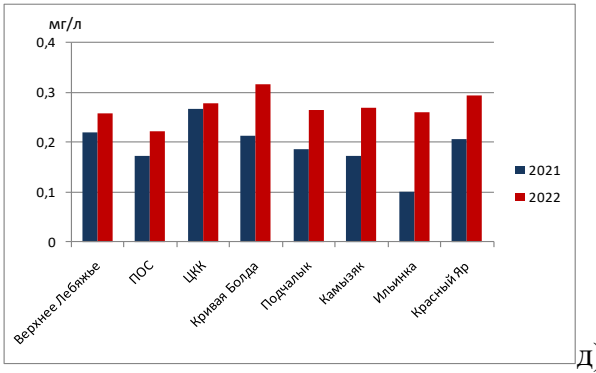
б)



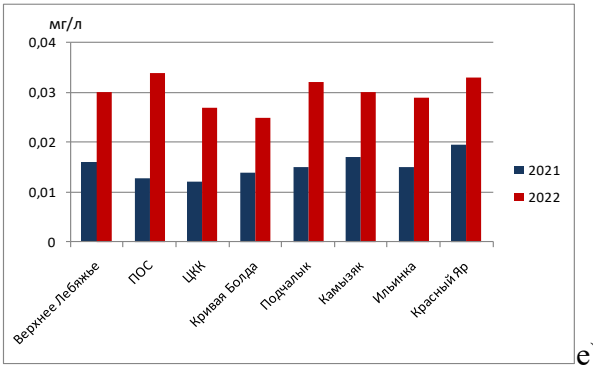
в)



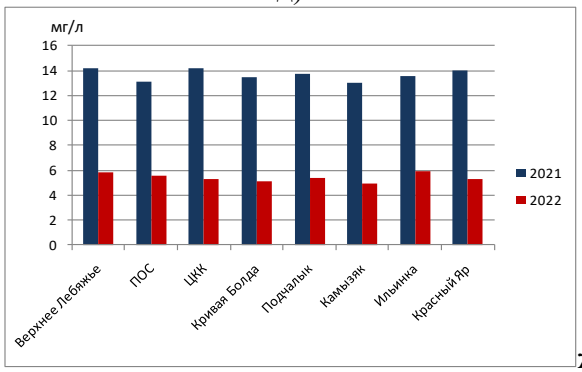
г)



д)



е)



ж)

Рисунок 11 – Уровень гидрокарбонатов и биогенных веществ в воде в 2021-2022 гг. (а – гидрокарбонаты, б – аммонийный азот, в – нитритный азот, г – нитратный азот, д – азот суммарный минеральный, е – минеральный фосфор, ж – кремний)

Оценка динамики изменений содержания нитритного азота в водотоках дельты в 2022 г. показала значительное увеличение среднегодовой концентрации в дельте р. Волга в 3-6 раз (рисунок 11). Самая высокая концентрация нитритов регистрировалась в июле в верхней зоне восточной части дельты (гидропосты: Подчалык, Кривая Болда), где концентрация нитритов достигала 0,03 мг/л. В остальные месяцы распределение концентрации NO_2 в дельте носило однородный характер.

Содержание нитратного азота в 2022 г. по всем водотокам изменилось незначительно. На всех гидропостах, кроме поста ЦКК, где среднегодовое содержание NO_3 осталось на уровне 2021 г., отмечалось увеличение среднегодовой концентрации. Наибольшее значение концентрации NO_3 было зафиксировано в верхней зоне западной части дельты (гидропост ЦКК) в марте. Установлено, что в верхней и средней зоне дельты, в ее западной и восточной частях максимальные концентрации наблюдались в начале года (февраль-март), а в период летне-осенней межени (август-ноябрь) количество нитратов в воде относительно указанного периода сократилось в 10 раз.

Значения концентрации фосфатов в 2022 г. относительно прошлого года выросли в среднем в два раза. Максимальный уровень PO_4, в воде водотоков дельты наблюдался на

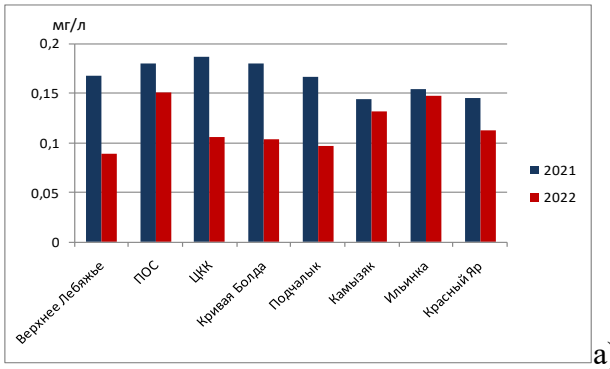
посту Красный Яр в феврале (0,1 мг/л). В западной части дельты максимальная концентрация достигала 0,07 мг/л и была отмечена в июле, самые низкие концентрации – в осенний период.

Содержание кремния в воде дельты р. Волги снизилось более чем в два раза относительно прошлого года. При этом максимум соединений кремния (11,9 мг/л) отмечается в р. Волга в августе. Самые высокие значения Si в других водотоках регистрировались также в августе. В целом распределение кремния в дельте было однородным.

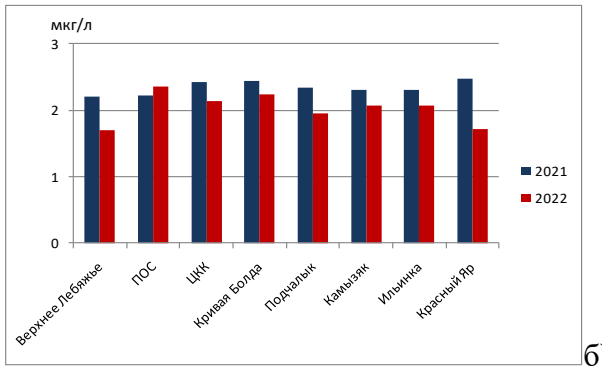
На основании анализа состояния речных вод по гидрохимическим показателям можно утверждать, что содержание БВ в водотоках дельты было ниже уровня ПДК [19].

В водотоках дельты р. Волги определялось количество тяжелых металлов (ТМ), концентрация которых, за исключением марганца, хрома и свинца, в большинстве водотоков в целом за 2022 г. снизилась по сравнению с 2021 г.

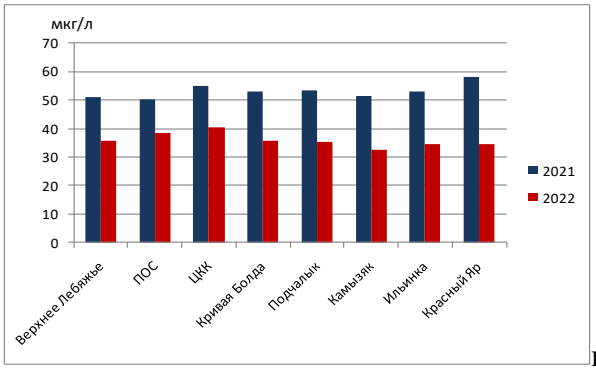
По всем гидропостам в среднем в 1,5 раза снизилось содержание железа в воде (рисунок 12, приложение А). Распределение железа по водотокам было достаточно неоднородным, наибольшее количество Fe регистрировалось в западной части дельты на гидропостах ПОС и Ильинка, где среднегодовая концентрация составляла 1,5 ПДК. Максимум достигал 4 ПДК в апреле и мае на посту Ильинка, на посту Камызяк значения Fe в апреле и июле достигали 3 ПДК.



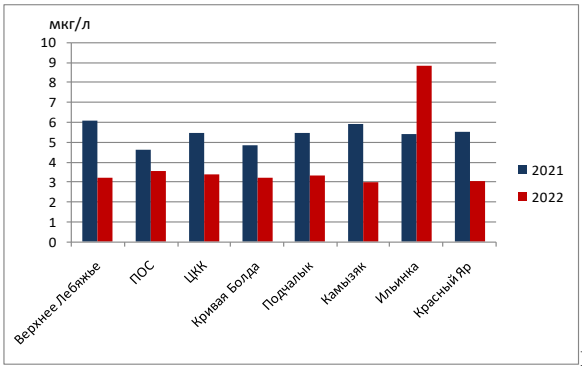
а)



б)



в)



г)

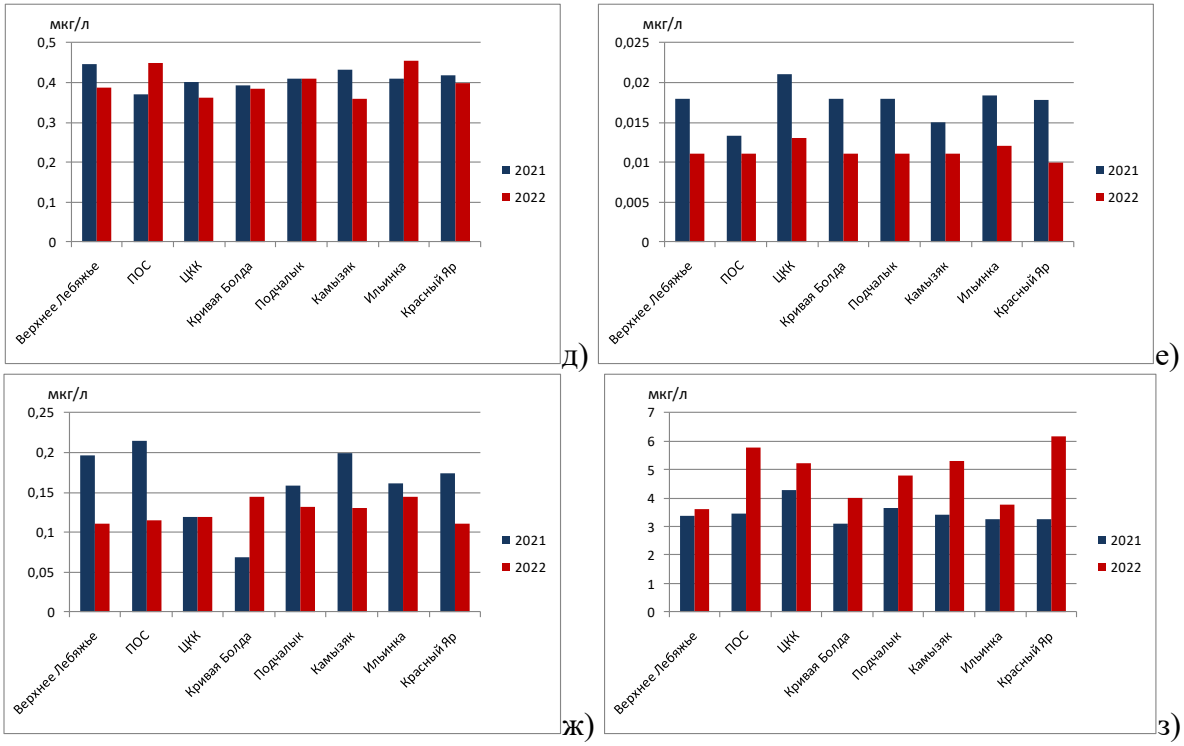


Рисунок 12 – Содержание тяжелых металлов в воде 2021-2022 гг. (а – железо, б – медь, в – цинк, г – никель, д – свинец, е – ртуть, ж – кадмий, з – марганец)

В 2022 г. исследованные водные объекты (кроме гидропоста ПОС) характеризовались снижением концентрации меди. Среднегодовая концентрация по всем водотокам незначительно (в 1,2 раза) снизилась относительно предыдущего года. Среднегодовые концентрации в водотоках (кроме поста Верхнее Лебяжье) превышали установленный норматив в 1,9-2,4 раза, самые низкие значения концентрации Cu зарегистрированы на гидропосту Верхнее Лебяжье. Максимумы регистрировались повсеместно, преимущественно в весенний период (апрель, май). Самые высокие концентрации меди были зафиксированы на гидропостах Камызяк и Кривая Болда (5 ПДК).

Годовой ход содержания цинка в исследуемом районе также имел тенденцию к снижению. Снижение среднегодового уровня этого тяжелого металла было незначительным (в 1,5 раза) и однородным на всех водных объектах. Средняя концентрация в дельте демонстрировала превышение установленного норматива до 4,4 ПДК (гидропост ЦКК). Превышение ПДК фиксировалось повсеместно, самые высокие значения отмечались в основном в весенние месяцы, однако максимум содержания цинка (7,7 ПДК) был зарегистрирован в сентябре на посту Кривая Болда.

Средняя концентрация никеля в дельте в 2022 г. снизилась в среднем в 1,5 раза. Среднегодовая концентрация в исследуемых водных объектах была ниже установленного

норматива. Максимальные концентрации никеля (9,2-10,1 мкг/л) регистрировались в вершине дельты и в ее верхней зоне (Верхнее Лебяжье, ЦКК, ПОС) в апреле. Повышение концентрации никеля регистрировалось весной во всех водотоках, к концу года концентрация никеля в дельте снижалась.

За 2022 г. концентрация хрома в р. Волга (гидропост ПОС) возросла почти в 2 раза, в протоке Кривая Болда содержание Cr увеличилось в 1,5 раза, в других водных объектах изменения концентрации по сравнению с предыдущим годом незначительны (приложение А). Абсолютный максимум зарегистрирован в декабре на посту Кривая Болда (2,52 мкг/л).

Количество свинца в водах исследуемых ВО в среднем в 2022 г. не изменилось, превышений установленного норматива не регистрировалось. Наибольшая среднегодовая концентрация наблюдалась на гидропостах ПОС и Ильинка. Максимум отмечен в феврале на гидропосту ПОС (0,79 мкг/л). Сезонный ход концентраций был однородным.

Содержание ртути в водах дельты в 2022 г. значительно снизилось, в водах отдельных водотоков снижение концентрации было наиболее значительным (до двух раз на гидропостах Верхнее Лебяжье, ЦКК, Кривая Болда, Подчалык и Красный Яр). Изменчивость концентрации была низкой, она изменялась от 0,004 мкг/л (в октябре на посту Верхнее Лебяжье) до 0,02 мкг/л (2 ПДК). Превышение ПДК зарегистрировано на всех постах, кроме ЦКК, преимущественно в период половодья.

Снижение уровня кадмия регистрировалось в 2022 г. на всех гидропостах, кроме пункта наблюдений Кривая Болда, где концентрация кадмия относительно предыдущего года увеличилась вдвое и пункта ЦКК, где концентрация не изменилась. Наиболее интенсивное снижение содержания Cd наблюдалось в вершине дельты и в верхней зоне западной части. Превышений ПДК не выявлено. Уровень кадмия варьировал от 0,02 мкг/л в декабре до 0,46 мкг/л в июне (гидропост Кривая Болда).

Концентрация марганца в дельте возросла. Повышение среднегодового уровня этого тяжелого металла относительно прошлого года было неоднородным, в вершине дельты количество марганца увеличилось в 1,1 раз, а на гидропостах ПОС, Камызяк и Красный Яр – почти в 2 раза. Средняя концентрация в дельте была значительно ниже ПДК.

На сегодняшний день производство и использование инсектицидов группы ДДТ не запрещены, но должны быть ограничены приемлемыми целями «борьбы с переносчиками болезней». Современным источником поступления хлорорганических пестицидов (ХОП) в ВО считается выщелачивание из почвы, использование в сельском хозяйстве, а также

поступление в результате борьбы с комарами.

Во всех отобранных пробах определялись концентрации ХОП (ДДТ, ДДЭ, ДДД, а также α-ГХЦГ и γ-ГХЦГ), результаты анализов выявили неоднозначную динамику и неравномерное распределение этих ЗВ по водотокам дельты (рисунок 13, приложение А).

Динамика изменений содержания ХОП в дельте р. Волги носила неоднородный характер. В вершине дельты концентрация пестицидов группы ДДТ и γ-ГХЦГ сократилась вдвое. В верхней зоне на посту ЦКК количество ДДТ и ДДЭ в воде увеличилось во столько же раз, а содержание группы ГХЦГ не изменилось; на гидрологических постах ПОС и Подчалык, как и в прошлом году, пестицидов обнаружено не было, в водах протоки Кривая Болда уровень ХОП не изменился. Из графиков, представленных на рисунке 13, видно, что в западной части средней зоны количество ДДТ и ДДЭ в воде снизилось более чем в 2 раза, концентрация ГХЦГ на посту Камызяк не изменилась, а на посту Ильинка снизилась. В восточной части средней зоны (Красный Яр) дельты незначительно увеличилось содержание ДДТ, а концентрация ДДЭ и группы ГХЦГ снизилась.

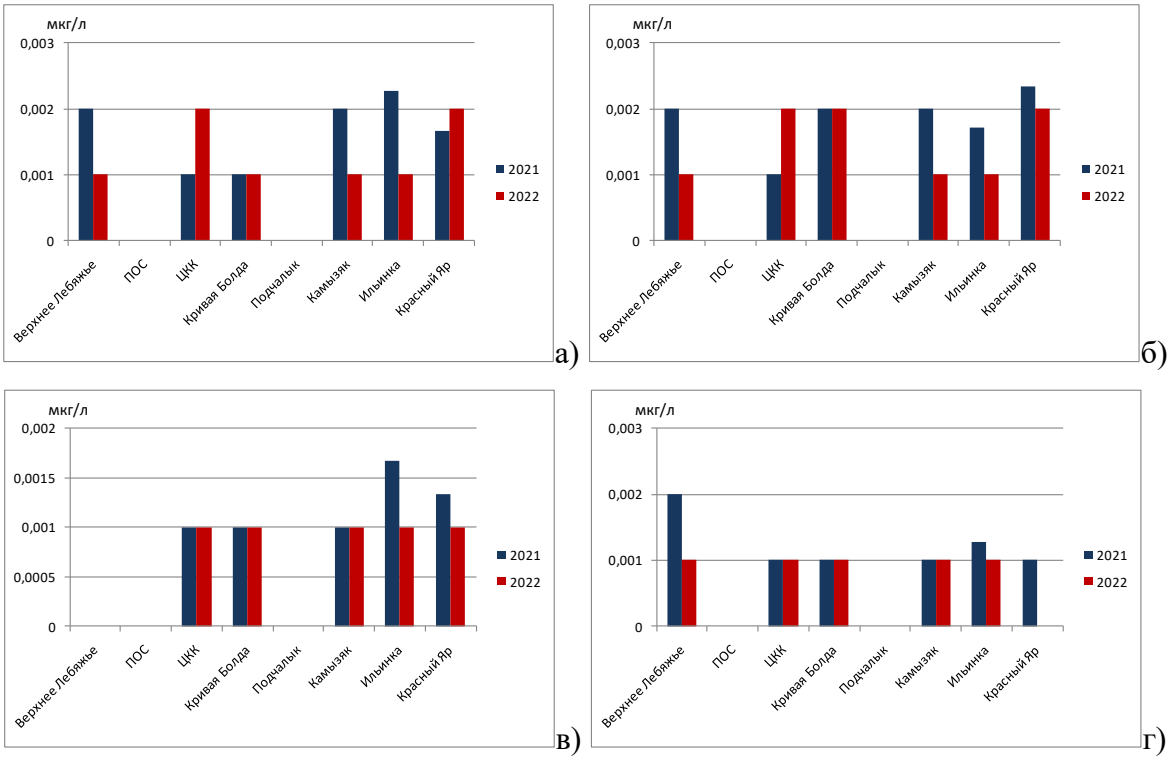


Рисунок 13 – Содержание пестицидов в воде в 2021-2022 гг. (а – ДДТ, б – ДДЭ, в – α-ГХЦГ, г – γ-ГХЦГ)

Наблюдения за загрязнением дельты Волги НУ показали снижение концентрации в

2022 г. относительно 2021 г. (рисунок 14, приложение А). Пространственное распределение концентрации в дельте было неоднородным, самые низкие концентрации (от 0,03 мкг/л) регистрировались на гидропостах в зимние месяцы, наиболее высокие – в летние, максимум (2 ПДК) зарегистрирован на постах ПОС и ЦКК в июне и сентябре соответственно. Годовые максимумы регистрировались в районах ЦКК и Ильинка.

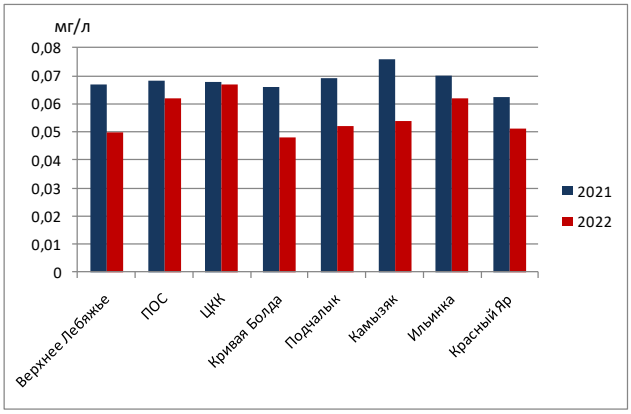
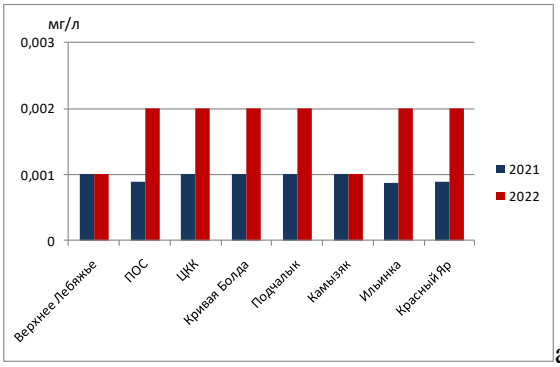
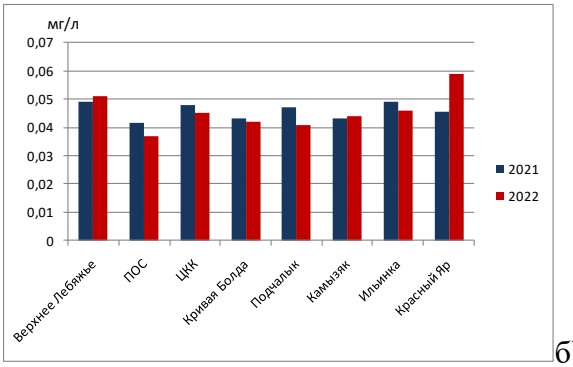


Рисунок 14 – Содержание НУ в воде в 2021-2022 гг.

Концентрация фенолов в 2022 г. по сравнению с 2021 годом изменилась незначительно (рисунок 15, приложение А). Распределение фенолов по водотокам носило неоднородный характер. Двукратное превышение норматива содержания фенолов в 2022 г. регистрировались на постах ПОС, ЦКК, Кривая Болда, Подчалык, Ильинка, Красный Яр. Максимальные значения уровня содержания фенолов 5-6 ПДК регистрировались в декабре в верхней и средней зонах.

Изменение значений концентрации АПАВ (рисунок 15, приложение А) в 2022 г. показало неоднозначную динамику. В вершине дельты относительно прошлого года концентрация незначительно выросла, повышение годовой концентрации отмечено и на посту Красный Яр, остальные водотоки характеризовались незначительным снижением уровня АПАВ. Годовые колебания концентрации АПАВ в дельте составили 0,03-0,1 мг/л, при этом самые высокие значения чаще всего регистрировались в период с марта по июнь, однако экстремальные значения (0,1 мг/л) наблюдались в рук. Бузан в июне, а в рук. Камызяк – в феврале. Превышений ПДК не выявлено.



а)


б)

Рисунок 15 – Содержание нестойких органических соединений в воде в 2021-2022 гг. (а – фенолы, б – АПАВ)

Интегральная оценка качества водной среды дельты р. Волга проводилась с помощью удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ), в соответствии с рекомендациями Росгидромета. Динамика УКИЗВ в 2021-2022 гг. говорит о снижении нагрузки на водные объекты дельты в отчетном году по сравнению с предшествующим (рисунок 16, приложение А). Наиболее высокие значения индекса в 2022 г., как и в 2021 г., зафиксированы в верхней зоне западной части дельты (гидропост ПОС, ЦКК и Ильинка) как в наиболее загрязненных районах. Воды всех водотоков дельты в 2022 г. относились ко второму классу «слабо загрязненных» вод [2].

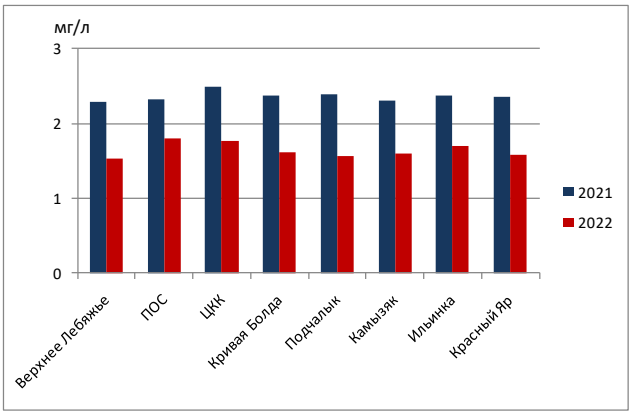


Рисунок 16 – УКИЗВ дельты р. Волги в 2021-2022 гг.

Наиболее характерные ЗВ дельты р. Волга представлены на рисунке 17. Расчет УКИЗВ проводился по следующим гидрохимическим параметрам: растворенный кислород; взвешенные вещества; железо; медь; цинк; НУ.

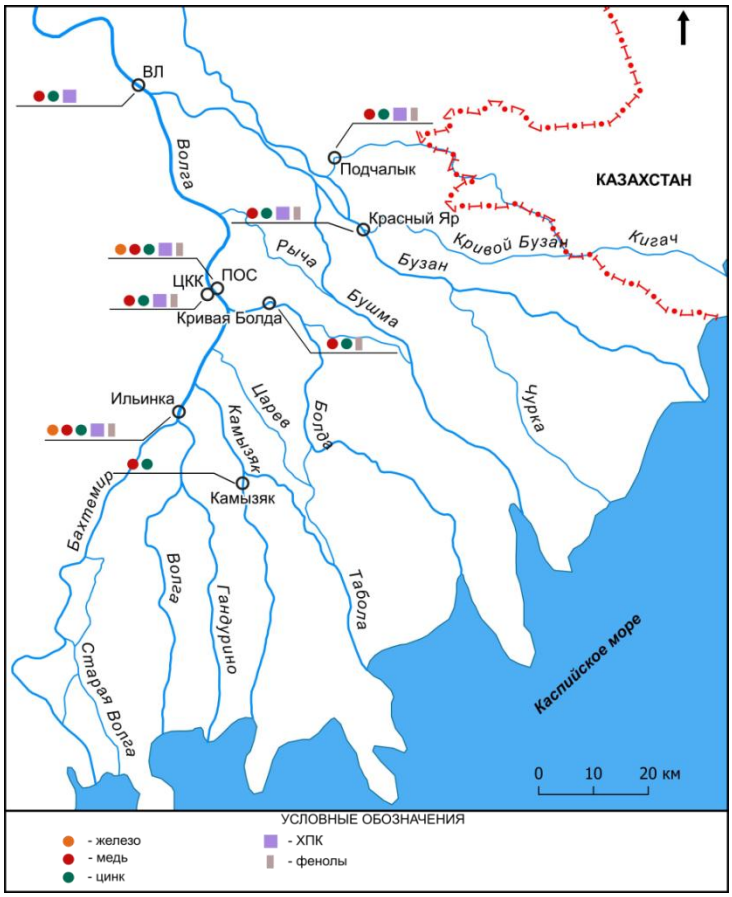


Рисунок 17 – Характерные загрязнители дельты р. Волги в 2022 г.

Следует отметить, что максимальные концентрации большинства ЗВ приурочены к весеннему периоду. Повторяемость превышения ПДК в водотоках дельты по таким гидрохимическим параметрам, как взвешенные вещества, ХПК, медь, цинк и НУ достигала 100 %, кратность превышения нормативов колебалась от 1,2 (для $БПК_5$) до 4,4 (для цинка) (таблица 4). Случаев высокого и экстремально высокого загрязнения вод дельты в 2022 г. не наблюдалось.

Таблица 4 – Повторяемость и кратность превышения ПДК ЗВ в дельте р. Волга

Параметр	Повторяемость, %	Кратность, ед.
1	2	3
Взвешенные вещества	100,0	2,0
ХПК	100,0	1,5
$БПК_5$	44,0	1,2
Железо	56,0	2,0

Продолжение таблицы 4

1	2	3
Медь	100,0	2,2
Цинк	100,0	4,4
Ртуть	44,0	1,5
НУ	100,0	1,4

В 2022 г. проводилась комплексная экологическая классификация качества вод дельты по эколого-санитарным (трофо-сапробиологическим) и по гидрохимическим показателям, которые включали содержание взвешенных веществ и биогенов. Интегральная оценка показала, что качество вод в водотоках дельты носило однородный характер, исследуемые ВО по комплексу гидрохимических параметров следует отнести ко второму классу «чистых» вод [20].

ГЛАВА 4. СОСТОЯНИЕ И ЗАГРЯЗНЕНИЕ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

В 2022 г. оценка состояния и загрязнения морской среды Северного Каспия проводилась по результатам государственного мониторинга окружающей среды на вековых океанографических разрезах государственной сети наблюдений (ГСН III, IIIа и IV). Наблюдения ежегодно проводятся Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет).

Наблюдения включали в себя основные гидрохимические показатели: уровень растворенного кислорода, водородный показатель, основные биогенные элементы, НУ и СПАВ. Количественный химический анализ (КХА) проводился в аккредитованной лаборатории Астраханского центра гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды. Динамика изменений состояния и загрязнения морской среды проводилась относительно пятилетнего периода (таблицы 5, 6, 7).

ГСН III. В результате анализа было установлено, что содержание растворенного кислорода в морской среде Северного Каспия в районе векового разреза ГСН III имело низкую изменчивость и колебалось от 6,07 мгO_2/л до 6,53 мгO_2/л. В среднем уровень кислорода за пятилетний период демонстрировал тенденцию к снижению как в поверхностном, так и в придонном горизонтах (таблица 5, рисунок 18). Содержание кислорода в толще воды не опускалось ниже допустимого уровня (6,0 мгO_2/л).

Таблица 5 – Содержание загрязняющих веществ на акватории векового океанографического разреза ГСН III за 2022/2016-2020 гг.

Параметр, единицы измерения	Горизонт	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение
1	2	3	4	5
O_2,мг/л	поверхностный	6,34/10,04	6,07/8,84	6,53/12,98
	придонный	6,26/9,60	6,07/9,0	6,41/10,85
pH, ед. pH	поверхностный	8,16/8,08	8,10/7,74	8,19/8,27
	придонный	8,18/8,07	8,15/7,86	8,21/8,24
Аммонийный азот, мкг/л	поверхностный	15,0/23,7	6,0/0,2	21,0/95,7
	придонный	19,0/23,1	17,0/0,5	22,0/83,2
Нитритный азот, мкг/л	поверхностный	2,0/0,7	1,0/0,1	3,0/2,0
	придонный	1,0/0,7	1,0/0,1	2,0/1,7
Нитратный азот, мкг/л	поверхностный	20,0/39,8	10,0/0,8	43,0/204,3
	придонный	10,0/22,1	3,0/0,8	25,0/57,8
Кремний, мкг/л	поверхностный	600,0/704,1	520,0/100,0	700,0/1740,0
	придонный	546,7/699,5	460,0/128,6	680,0/1760,0

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5
Минеральный фосфор, мкг/л	поверхностный	1,0/7,5	0,2/2,6	1,0/22,4
	придонный	0,4/7,3	0,2/3,0	1,0/17,9
НУ, мг/л	поверхностный	0,03/0,18	0,02/0,08	0,03/0,30
	придонный	0,02/0,19	0,02/0,09	0,03/0,31
СПАВ, мг/л	поверхностный	0,06/0,08	0,03/0,06	0,08/0,10
	придонный	0,05/0,07	0,03/0,05	0,06/0,08

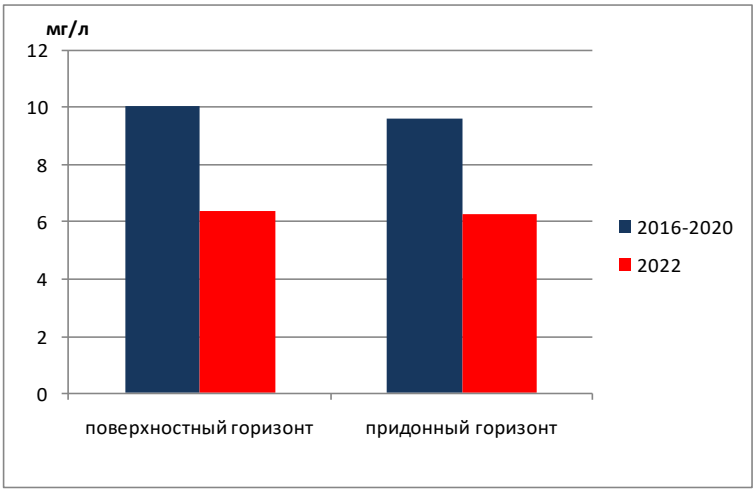


Рисунок 18 – Содержание растворенного кислорода на акватории векового океанографического разреза ГСН III за 2022/2016-2020 гг.

Водородный показатель за период 2016-2020 гг. изменился незначительно и колебался в узком диапазоне концентрации от 7,74 ед. pH до 8,24 ед. pH, уровень pH в 2022 г. находился в пределах многолетней изменчивости (рисунок 19).

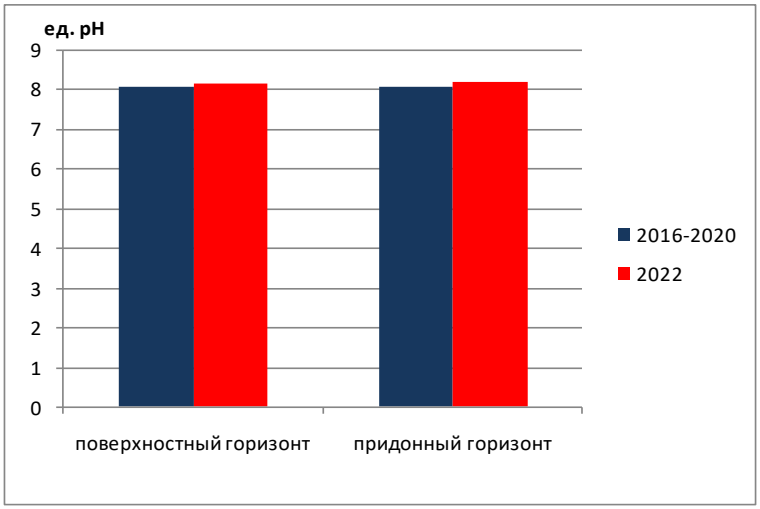


Рисунок 19 – Водородный показатель на акватории векового океанографического разреза ГСН III за 2022/2016-2020 гг.

Уровень биогенных элементов имеет большое значение при определении состояния и загрязнения морской среды.

Соединения азота являются трудноминерализуемыми органическими соединениями. Процессы нитрификации во многом зависят от условий окружающей среды. Распределение соединений азота в толще воды весьма неравномерно, на мелководье, с глубиной, содержание азота убывает с различной интенсивностью, самые высокие концентрации характерны для поверхностных горизонтов мелководных прибрежных районов, самые низкие – для глубоких слоев океана. Соединения фосфора в большей степени характеризуют биологическую продуктивность моря, именно они в первую очередь потребляются фитопланктоном для обеспечения жизнедеятельности и фотосинтеза. Минерализация фосфорсодержащих соединений происходит быстрее, чем минерализация других биогенов [21].

В ходе работ было установлено, что за исследуемый период произошло значительное перераспределение доминирующих форм биогенов (рисунки 20, 21, 22, 23). В 2022 г. в районе векового разреза ГСН III значительно снизилась концентрация аммонийного азота (рисунок 20). В поверхностном горизонте уровень NH_4 был ниже, чем в придонном, хотя за период 2016-2020 гг. ион аммония в толще воды распределялся равномерно. Содержание аммонийного азота в 2022 г изменялось от 6,0 мкг/л в поверхностном слое воды до 22,0 мкг/л в придонном, тогда как за пять предыдущих лет количество NH_4 достигало 95,7 мкг/л в поверхностном горизонте.

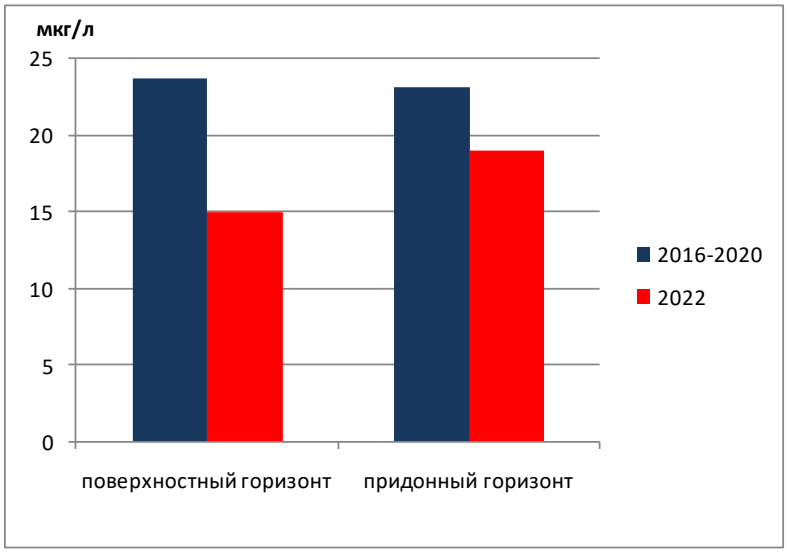


Рисунок 20 – Содержание аммонийного азота на акватории векового океанографического разреза ГСН III за 2022/2016-2020 гг.

Многолетняя динамика содержания нитритного азота демонстрировала обратную тенденцию (рисунок 21). В 2022 г. средняя концентрация NO_2 в поверхностном горизонте Северного Каспия в районе разреза ГСН III увеличилась в 2,9 раза, а в придонном горизонте – в 1,4 раза. Максимальная концентрация за пятилетний период 2016-2020 гг. достигала 2,0 мкг/л, в то время как в 2022 г. максимум составил 3,0 мкг/л.

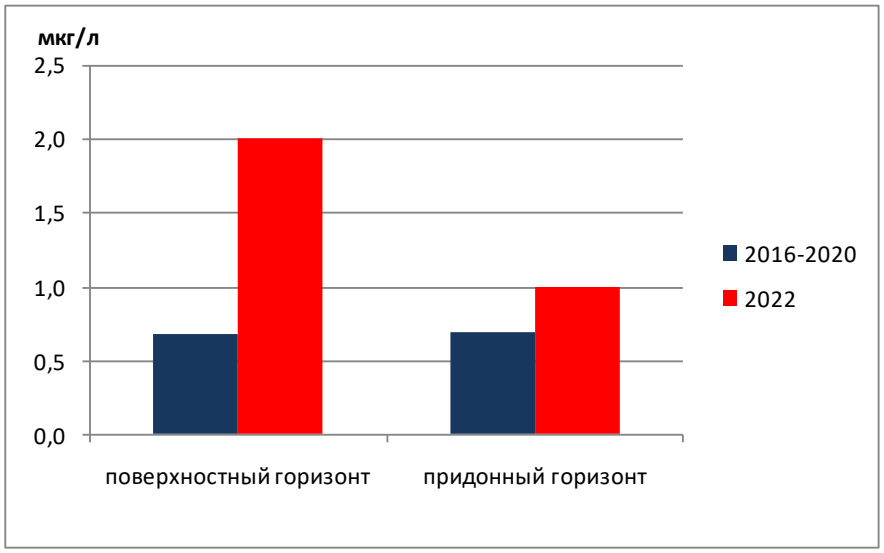


Рисунок 21 – Содержание нитритного азота на акватории векового океанографического разреза ГСН III за 2022/2016-2020 гг.

Средняя концентрация нитратного азота в 2022 г. в толще воды в районе ГСН III относительно предшествующего пятилетнего периода снизилась вдвое как в поверхностном, так и в придонном горизонтах. Экстремальные значения в 2022 г. колебались в диапазоне 3,0-43,0 мкг/л, а в период 2016-2020 гг. – 0,8-204,3 мкг/л (рисунок 22).

Следует также отметить, что наибольшие концентрации иона аммония регистрировались в 2022 г. в придонном горизонте, а нитритного и нитратного азота – в поверхностном слое.

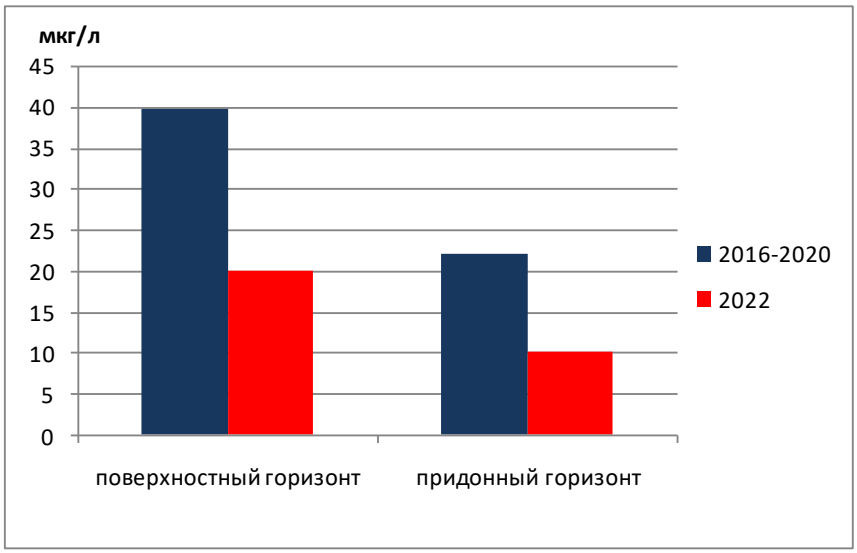


Рисунок 22 – Содержание нитратного азота на акватории векового океанографического разреза ГСН III за 2022/2016-2020 гг.

В 2022 г. в районе векового разреза ГСН III отмечено резкое снижение содержания минерального фосфора (рисунок 23). Средние концентрации PO_4 снизились более чем в 7 раз. Экстремальные концентрации в 2022 г. колебались в диапазоне 0,2-1,0 мкг/л, а в период 2016-2020 гг. концентрация минерального фосфора достигала 22,4 мкг/л (поверхностный горизонт).

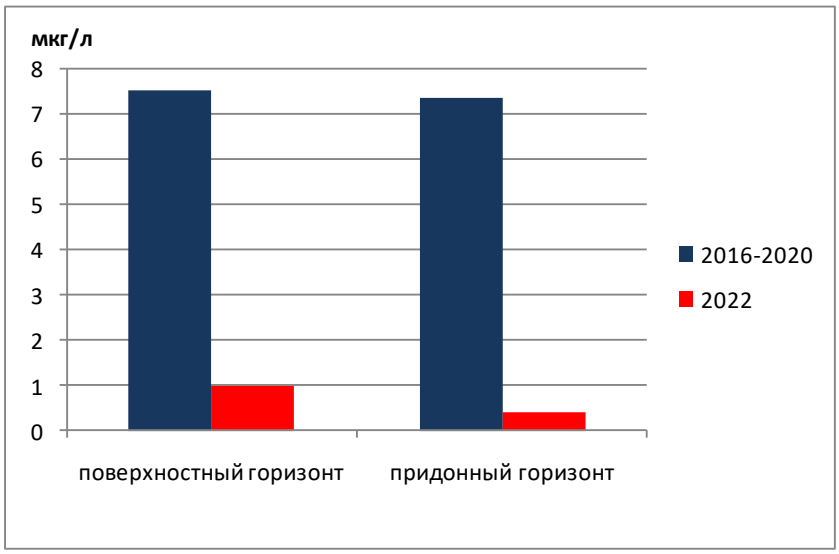


Рисунок 23 – Содержание минерального фосфора на акватории векового океанографического разреза ГСН III за 2022/2016-2020 гг.

Отмечена тенденция к снижению минерального кремния, его средняя концентрация в поверхностном горизонте составила 600,0 мкг/л, а в придонном –

546,7 мкг/л. Распределение концентрации в толще воды носило достаточно равномерный характер, однако диапазон концентраций в 2016-2020 гг. был значительно шире, чем в 2022 г. Максимум кремния в этот период достигал 1760,0 мкг/л, а в 2022 г. – 700,0 мкг/л (рисунок 24).

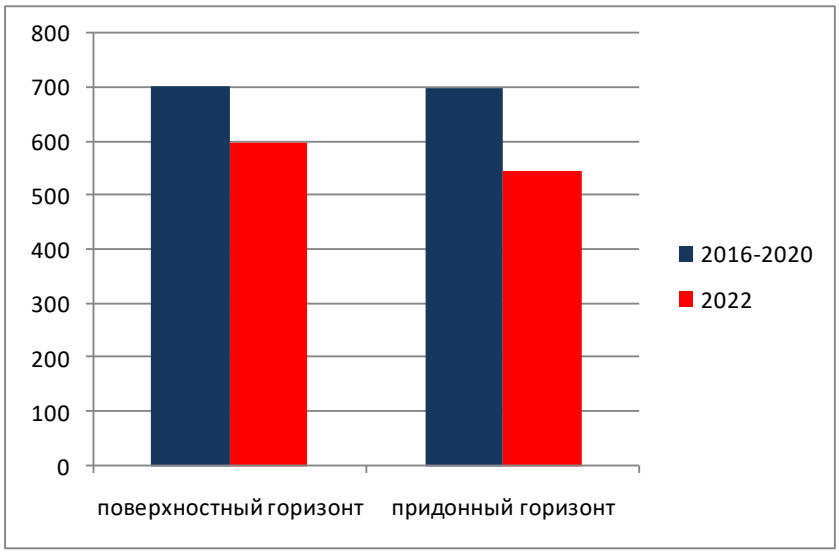


Рисунок 24 – Содержание кремния на акватории векового океанографического разреза ГСН III за 2022/2016-2020 гг.

Концентрация НУ распределялась по акватории Северного Каспия в районе ГСН III равномерно в течение всего периода наблюдений. Средние значения НУ в 2022 г. составили в поверхностном и придонном горизонте 0,03 и 0,02 мг/л, что соответственно в 6 и 9,5 раз ниже, чем в предыдущий пятилетний период (рисунок 25). Максимальные концентрации в 2022 г. составили 0,03 мг/л в толще воды, что в 10 раз меньше, чем за период 2016-2020 гг. Превышений допустимой концентрации НУ в отчетном году зарегистрировано не было [19].

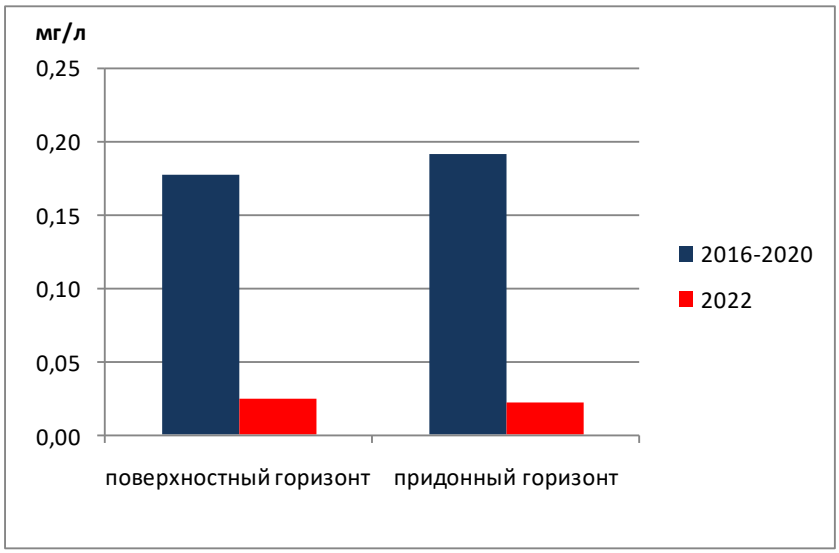


Рисунок 25 – Содержание НУ на акватории векового океанографического разреза ГСН III за 2022/2016-2020 гг.

Уровень СПАВ относительно предыдущего периода значительно снизился. Средняя концентрация в отчетном году составила в поверхностном и придонном горизонте соответственно 0,06 и 0,05 мг/л, максимальная концентрация была отмечена в поверхностном горизонте и составила 0,08 мг/л. Превышений ПДК не регистрировалось (рисунок 26).

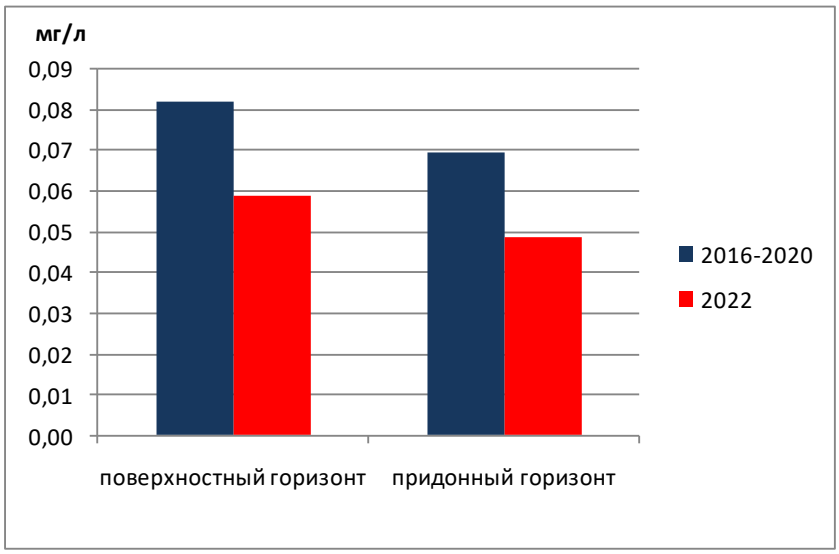


Рисунок 26 – Содержание СПАВ на акватории векового океанографического разреза ГСН III за 2022/2016-2020 гг.

ГСН IIIа. В 2022 г. наблюдения на разрезе IIIа проводились на трех станциях в период летне-осенней межени. Результаты статистической обработки и анализа данных

гидрохимических параметров морской среды Северного Каспия в районе ГСН IIIа представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Содержание загрязняющих веществ на акватории векового океанографического разреза ГСН IIIа за 2022/2016-2020 гг.

Параметр, единицы измерения	Горизонт	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение
O_2,мг/л	поверхностный	6,26/10,09	6,07/8,35	6,41/11,43
	придонный	5,29/10,38	4,02/9,36	5,96/11,53
pH, ед. pH	поверхностный	8,28/8,30	8,26/7,58	8,29/8,84
	придонный	8,27/8,25	8,23/7,93	8,29/8,53
Аммонийный азот, мкг/л	поверхностный	16,0/39,97	14,0/1,26	18,0/94,9
	придонный	29,0/31,89	22,0/0,72	42,0/78,8
Нитритный азот, мкг/л	поверхностный	2,0/1,64	1,0/0,10	2,0/6,85
	придонный	2,0/1,22	0,2/0,10	2,0/3,71
Нитратный азот, мкг/л	поверхностный	10,0/35,82	3,0/0,80	10,0/89,10
	придонный	10,0/36,06	10,0/1,70	10,0/135,80
Кремний, мкг/л	поверхностный	800,0/861,05	720,0/128,6	880,0/1660,0
	придонный	873,3/610,16	800,0/28,60	1000,0/1780,0
Минеральный фосфор, мкг/л	поверхностный	0,20/8,35	0/3,30	0,5/16,60
	придонный	0,10/8,37	0/2,30	0,2/16,60
НУ, мг/л	поверхностный	0,05/0,18	0,04/0,07	0,05/0,32
	придонный	0,04/0,17	0,04/0,06	0,05/0,32
СПАВ, мг/л	поверхностный	0,05/0,09	0,05/0,08	0,06/0,10
	придонный	0,05/0,08	0,05/0,06	0,05/0,09

В результате анализа было установлено, что содержание растворенного кислорода в морской среде Северного Каспия в районе векового разреза ГСН IIIа имело низкую изменчивость и колебалось в поверхностном горизонте от 6,07 мгO_2/л до 6,41 мгO_2/л. В придонном горизонте концентрация кислорода изменялась в диапазоне 4,02-5,96 мгO_2/л, в придонном слое средняя концентрация была в 2 раза ниже, чем значения концентрации кислорода в период 2016-2020 гг. и в 1,5 раза ниже установленного норматива ПДК (6,0 мгO_2/л) (рисунок 27).

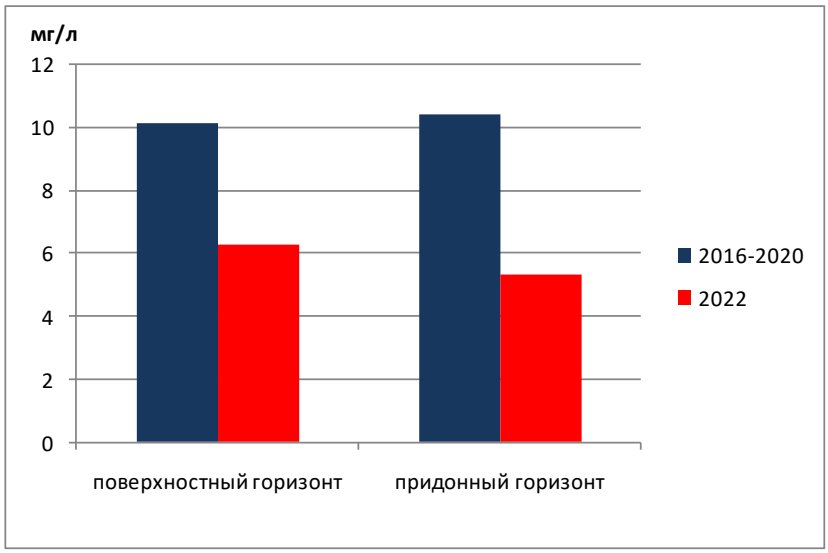


Рисунок 27 – Содержание растворенного кислорода на акватории векового океанографического разреза ГСН IIIа за 2022/2016-2020 гг.

Водородный показатель за весь период исследований демонстрировал стабильный уровень, не превышающий 8,84 ед. pH. Временная изменчивость была низкой, а распределение pH в толще воды носило однородный характер. В 2022 г. водородный показатель колебался в узком диапазоне 8,23-8,29 ед. pH (рисунок 28).

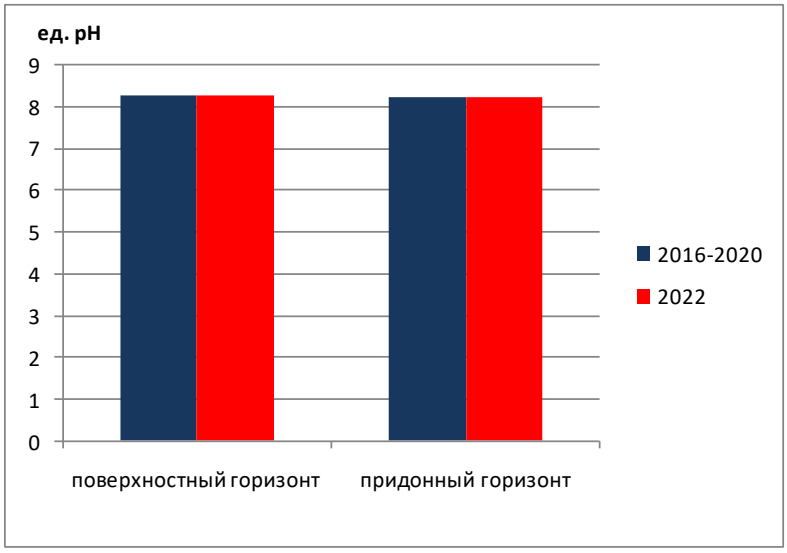


Рисунок 28 – Водородный показатель на акватории векового океанографического разреза ГСН IIIа за 2022/2016-2020 гг.

В районе разреза IIIа, также как и в районе разреза III, за исследуемый период произошло значительное перераспределение доминирующих форм биогенов (рисунки 29, 30, 31, 32).

В 2022 г. снизилась концентрация аммонийного азота (рисунок 29). В поверхностном слое количество иона аммония сократилось в 2,5 раза, а в придонном горизонте изменения средней концентрации были незначительны. Содержание аммонийного азота в 2022 г. изменялось в поверхностном слое воды от 14,0 мкг/л до 18,0 мкг/л, а в придонном – от 22,0 до 42,0 мкг/л, тогда как за пять предыдущих лет количество NH_4^+ в данном районе моря достигало 94,9 мкг/л в поверхностном горизонте.

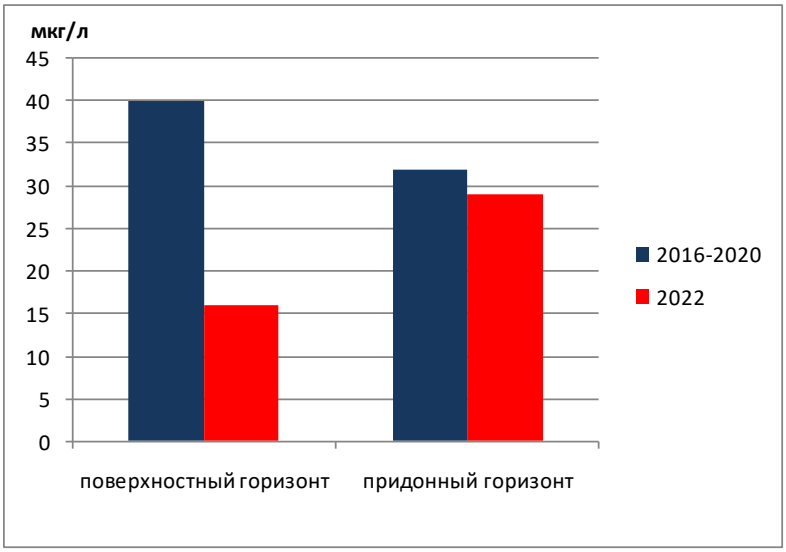


Рисунок 29 – Содержание аммонийного азота на акватории векового океанографического разреза ГСН IIIа за 2022/2016-2020 гг.

Многолетняя динамика содержания нитритного азота демонстрировала обратную тенденцию (рисунок 30). В 2022 г. средняя концентрация NO_2 в поверхностном и придонном горизонте была одинаковой. Пространственное распределение нитрит-иона в 2022 г. носило однородный характер. Средние значения NO_2 в отчетном году были незначительно выше, чем среднемноголетние значения, экстремальные концентрации находились в пределах многолетней изменчивости.

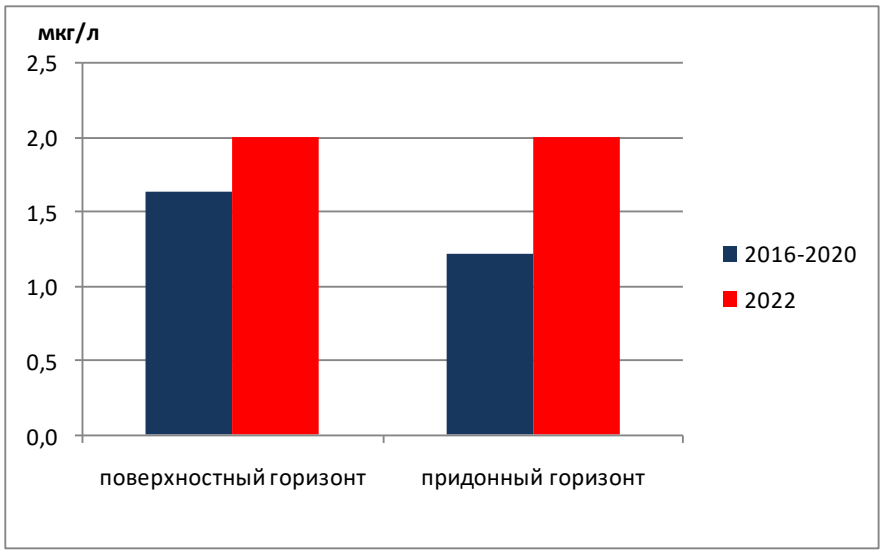


Рисунок 30 – Содержание нитритного азота на акватории векового океанографического разреза ГСН IIIа за 2022/2016-2020 гг.

Средняя концентрация нитратного азота в 2022 г. в толще воды в районе ГСН IIIа относительно предшествующего пятилетнего периода снизилась в 3,5 раза как в поверхностном, так и в придонном горизонтах. Экстремальные значения в 2022 г. составили диапазон 0,7-10,0 мкг/л, а в период 2016-2020 гг. – 0,8-135,8 мкг/л (рисунок 31).

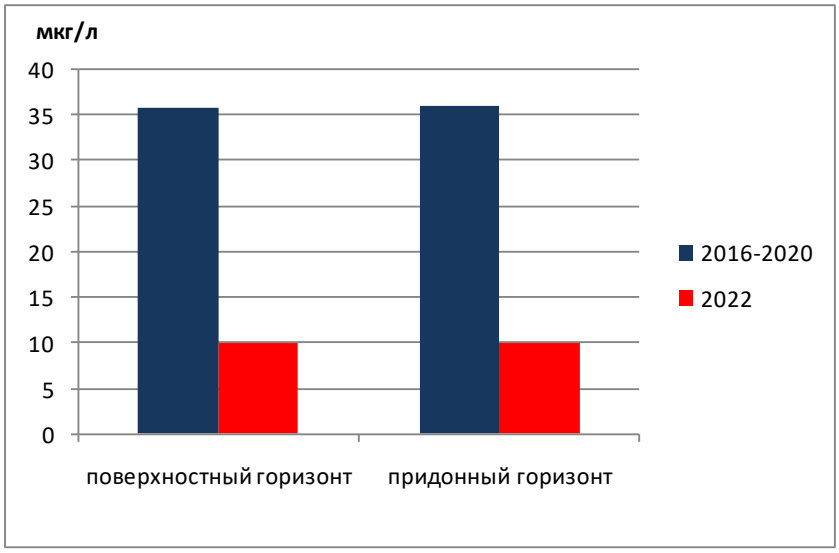


Рисунок 31 – Содержание нитратного азота на акватории векового океанографического разреза ГСН IIIа за 2022/2016-2020 гг.

В 2022 г. в районе векового разреза ГСН IIIа отмечено резкое снижение содержания минерального фосфора (рисунок 32). Средние концентрации PO_4 снизились более чем в 40 раз. Диапазон значений концентрации в 2022 г. колебался от

аналитического ноля до 0,5 мкг/л, а в период 2016-2020 гг. концентрация минерального фосфора достигала 16,6 мкг/л.

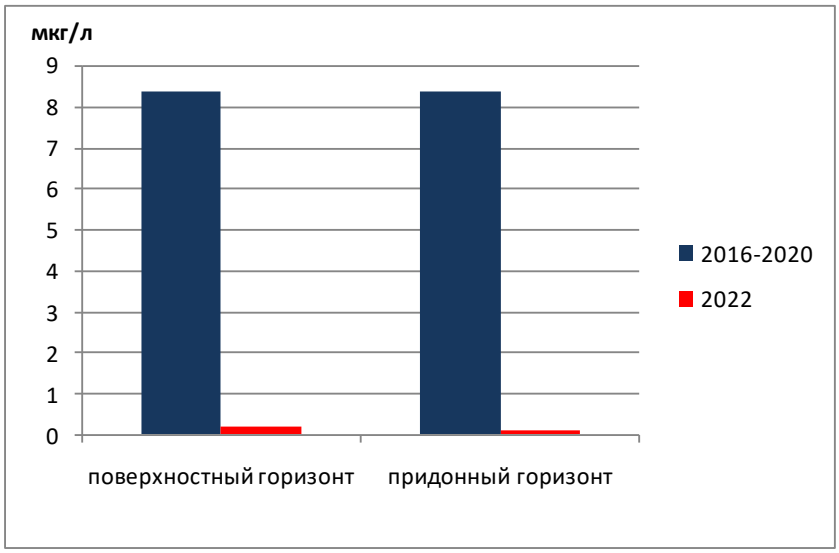


Рисунок 32 – Содержание минерального фосфора на акватории векового океанографического разреза ГСН IIIа за 2022/2016-2020 гг.

В Северном Каспии в районе разреза ГСН IIIа динамика изменений концентрации кремния в толще воды носила неоднородный характер. У поверхности количество кремния незначительно снизилось, а у дна возросло. В среднем в поверхностном горизонте концентрация кремния составила 800 мкг/л, а в придонном – 873,3 мкг/л. Значения экстремальных концентраций минерального кремния колебались в пределах многолетней изменчивости. Максимум в 2022 г. зарегистрирован в придонном слое на уровне 1000,0 мкг/л (рисунок 33).

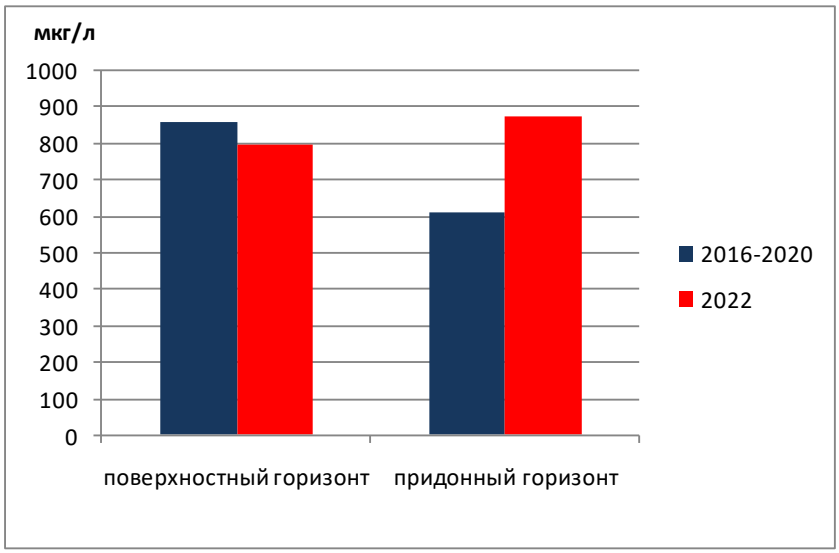


Рисунок 33 – Содержание кремния на акватории векового океанографического разреза ГСН IIIа за 2022/2016-2020 гг.

Концентрация НУ распределялась по акватории Северного Каспия в районе ГСН IIIа равномерно в течение всего периода наблюдений. Средние значения НУ в 2022 г. составили в поверхностном и придонном горизонте соответственно 0,05 и 0,04 мг/л, что в 3,6 и 4,3 раза ниже, чем в предыдущий пятилетний период, но почти в 2 раза больше, чем в районе разреза III. Максимальные концентрации в 2022 г. составили 0,05 мг/л в толще воды, что в 6,4 раза меньше, чем за период 2016-2020 гг. (рисунок 34). Превышений ПДК НУ в отчетном году зарегистрировано не было [19].

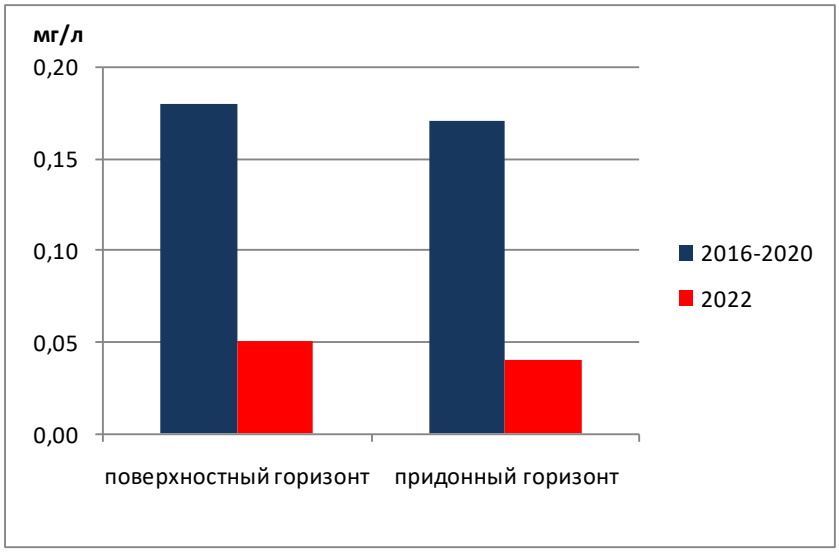


Рисунок 34 – Содержание НУ на акватории векового океанографического разреза ГСН IIIа за 2022/2016-2020 гг.

Средний уровень СПАВ относительно предыдущего периода снизился в 1,8 и в 1,6 раз (соответственно в поверхностном и в придонном горизонте). Превышений ПДК не регистрировалось. Средняя концентрация в отчетном году составила в поверхностном и придонном горизонте 0,05 мг/л, максимальная концентрация была отмечена в поверхностном горизонте и составила 0,06 мг/л (рисунок 35). Превышений ПДК не регистрировалось.

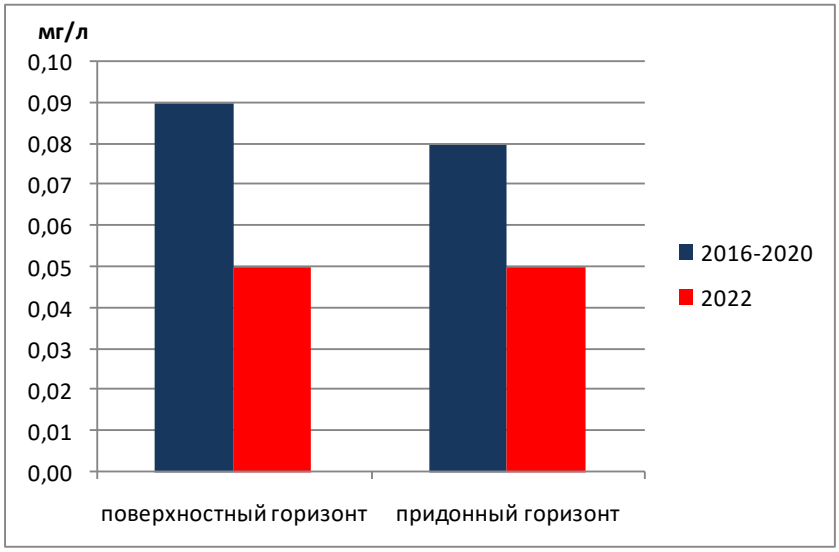


Рисунок 35 – Содержание СПАВ на акватории векового океанографического разреза ГСН IIIа за 2022/2016-2020 гг.

ГСН IV. Вековой разрез ГСН IV расположен на условной границе разделения Северного и Среднего Каспия. В этом районе практически полностью отсутствует влияние речного стока. Результаты статистической обработки и анализа данных гидрохимических параметров морской среды Северного Каспия в районе ГСН IV представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Содержание загрязняющих веществ на акватории векового океанографического разреза ГСН IV за 2022/2016-2020 гг.

Параметр, единицы измерения	Горизонт	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение
1	2	3	4	5
O_2,мг/л	поверхностный	8,17/9,08	8,05/8,12	8,34/10,69
	придонный	8,06/8,75	7,92/7,10	8,22/10,70
pH, ед. pH	поверхностный	8,33/8,22	8,27/7,02	8,35/8,74
	придонный	8,35/8,04	8,31/6,46	8,40/8,79

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5
Аммонийный азот, мкг/л	поверхностный	289,25/14,89	264,0/10,4	319,0/19,70
	придонный	194,75/10,30	148,0/5,90	291,0/14,0
Нитритный азот, мкг/л	поверхностный	1,50/164,34	1,44/1,54	1,61/305,00
	придонный	0,95/126,86	0,85/0,57	1,14/324,0
Нитратный азот, мкг/л	поверхностный	15,53/69,75	15,0/1,06	15,80/344,0
	придонный	11,70/55,04	10,0/0,97	12,40/259,0
Кремний, мкг/л	поверхностный	285,75/366,06	238,0/158,0	320,0/827,0
	придонный	348,25/430,93	334,0/156,0	368,0/1077,0
Минеральный фосфор, мкг/л	поверхностный	6,85/10,04	6,2/4,0	7,10/15,60
	придонный	6,63/7,14	6,20/1,10	7,30/14,50
НУ, мг/л	поверхностный	0,06/0,06	0,05/0,05	0,06/0,07
	придонный	0,05/0,04	0,04/0,02	0,05/0,06
СПАВ, мг/л	поверхностный	0,02/0,09	0,01/0,08	0,02/0,10
	придонный	0,01/0,08	0,01/0,06	0,01/0,09

Содержание растворенного кислорода в морской среде на границе Северного и Среднего Каспия, в районе векового разреза ГСН IV, имело низкую изменчивость и распределялось в толще воды равномерно. Значения концентрации колебались от 7,92 мгO_2/л в придонном горизонте до 8,34 мгO_2/л в поверхностном. В среднем уровень кислорода за пятилетний период демонстрировал тенденцию к снижению как в поверхностном, так и в придонном горизонте (рисунок 36).

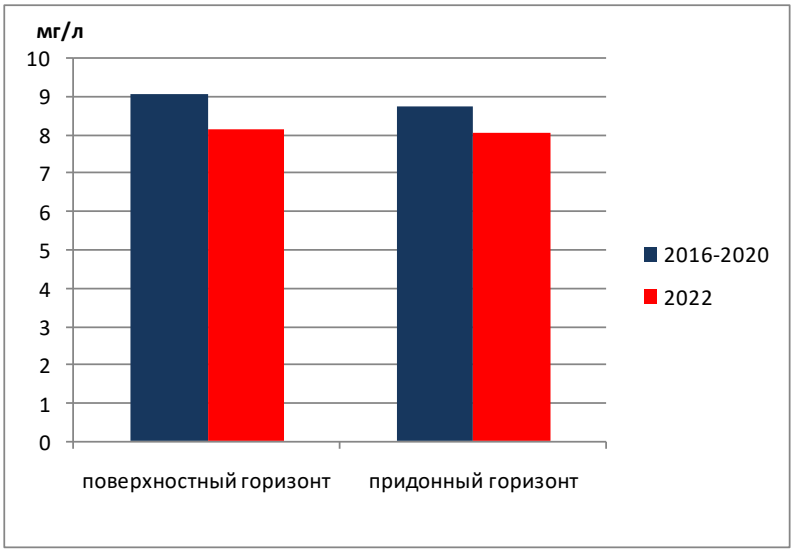


Рисунок 36 – Содержание растворенного кислорода на акватории векового океанографического разреза ГСН IV за 2022/2016-2020 гг.

Водородный показатель за исследуемый период 2016-2020 гг. изменился незначительно и колебался в узком диапазоне концентрации от 7,02 ед. pH до 8,79 ед. pH,

уровень pH в 2022 г. находился в пределах многолетней изменчивости. Средние значения водородного показателя составили у поверхности 8,33 ед. pH и 8,35 ед. pH у дна (рисунок 37).

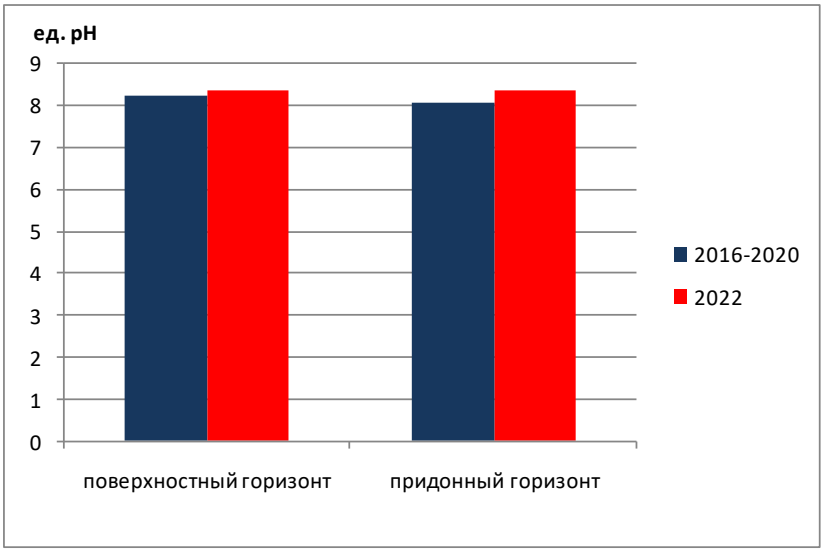


Рисунок 37 – Водородный показатель на акватории векового океанографического разреза ГСН IV за 2022/2016-2020 гг.

На границе со Средним Каспием за исследуемый период произошло значительное перераспределение концентраций биогенных элементов (рисунки 38, 39, 40, 41).

В 2022 г. в районе векового разреза ГСН IV значительно выросла концентрация аммонийного азота (рисунок 38). При этом в поверхностном горизонте максимальный уровень NH_4^+ достигал 319,0 мкг/л, а в придонном – 291,0 мкг/л. Средние значения иона аммония составили соответственно 289,25 и 194,75 мкг/л, тогда как за пять предыдущих лет NH_4^+ средние значения составили 14,89 и 10,30 мкг/л соответственно.

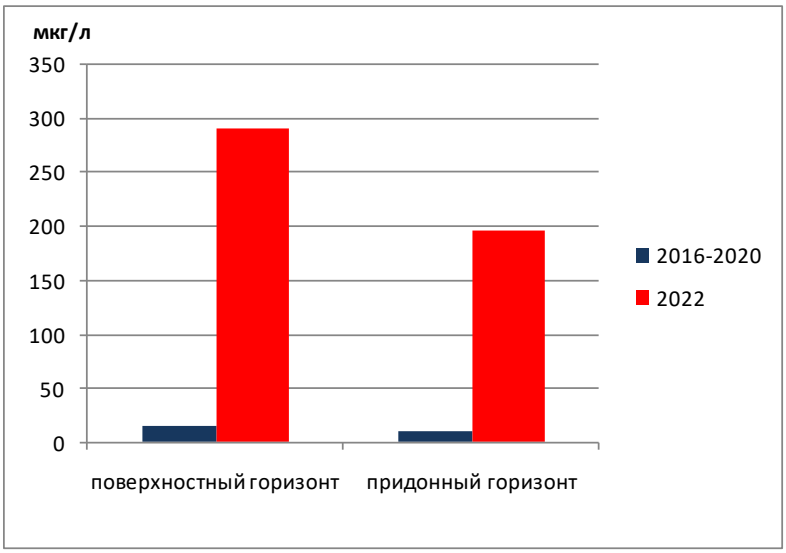


Рисунок 38 – Содержание аммонийного азота на акватории векового океанографического разреза ГСН IV за 2022/2016-2020 гг.

Многолетняя динамика содержания нитритного азота демонстрировала иную тенденцию (рисунок 39). В 2022 г. средняя концентрация NO_2 в поверхностном горизонте Среднего Каспия в районе разреза ГСН IV снизилась более чем в сто раз. Максимальная концентрация за пятилетний период 2016-2020 гг. достигала 324,0 мкг/л, в то время как в 2022 г. максимум составил всего 1,61 мкг/л.

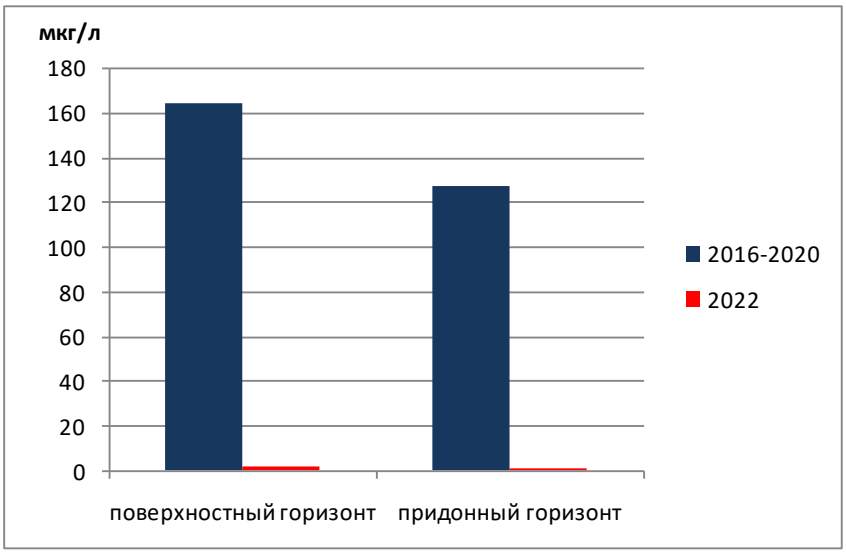


Рисунок 39 – Содержание нитритного азота на акватории векового океанографического разреза ГСН IV за 2022/2016-2020 гг.

Средняя концентрация нитратного азота в 2022 г. в толще воды в районе ГСН IV относительно предшествующего пятилетнего периода снизилась в 4,5 раза в

поверхностном слое воды и в 4,7 раза в придонном горизонте. Экстремальные значения в 2022 г. составили довольно узкий диапазон значений от 10,0 мкг/л до 15,8 мкг/л, а в период 2016-2020 гг. – от 0,97 до 344,0 мкг/л (рисунок 40).

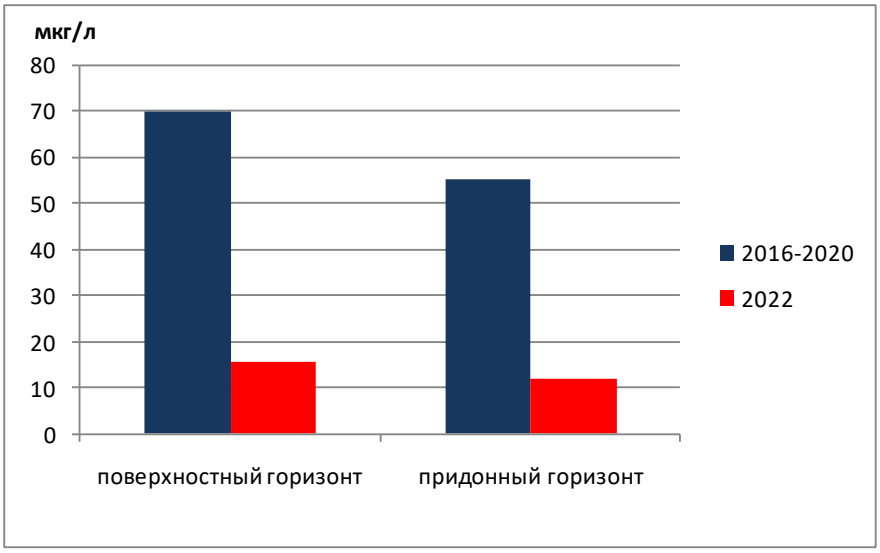


Рисунок 40 – Содержание нитратного азота на акватории векового океанографического разреза ГСН IV за 2022/2016-2020 гг.

Минеральный фосфор служит лимитирующим фактором трофности водоемов и определяет их биологическую продуктивность [10, 21]. В 2022 г. в районе векового разреза ГСН IV значительных изменений в динамике содержания минерального фосфора отмечено не было. Средние концентрации PO_4 снизились, составив в поверхностном и придонном горизонтах 6,85 мкг/л и 6,63 мкг/л соответственно (рисунок 41). Экстремальные концентрации в 2022 г. колебались в диапазоне 6,2-7,3 мкг/л, а в период 2016-2020 гг. концентрация минерального фосфора достигала 15,6 мкг/л.

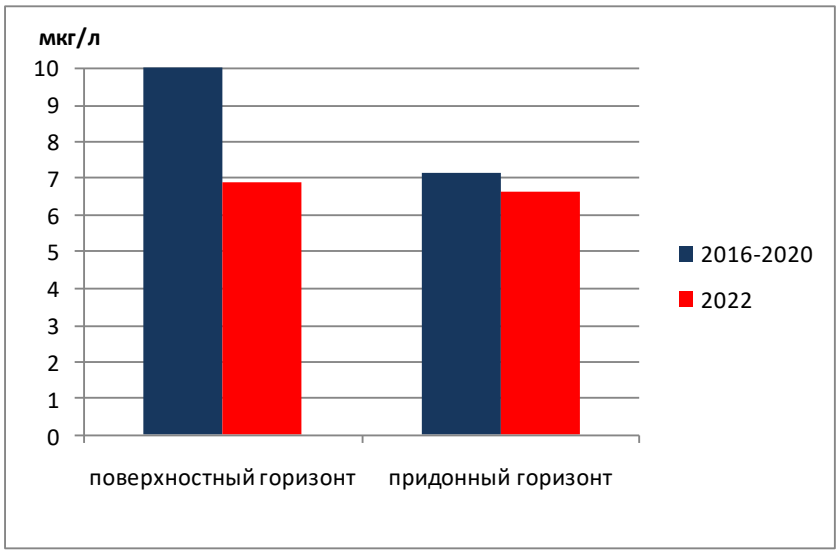


Рисунок 41 – Содержание минерального фосфора на акватории векового океанографического разреза ГСН IV за 2022/2016-2020 гг.

Отмечен тренд снижения минерального кремния, его средняя концентрация в поверхностном горизонте составила 285,75 мкг/л, а в придонном – 348,25 мкг/л. Современные исследования показали, что распределение концентрации в толще воды носило достаточно равномерный характер, однако диапазон концентраций в 2016-2020 гг. был значительно шире, чем в 2022 г. Максимальное значение кремния в 2022 г. составило 368,0 мкг/л, в период 2016-2020 гг. – 1060,0 мкг/л (рисунок 42).

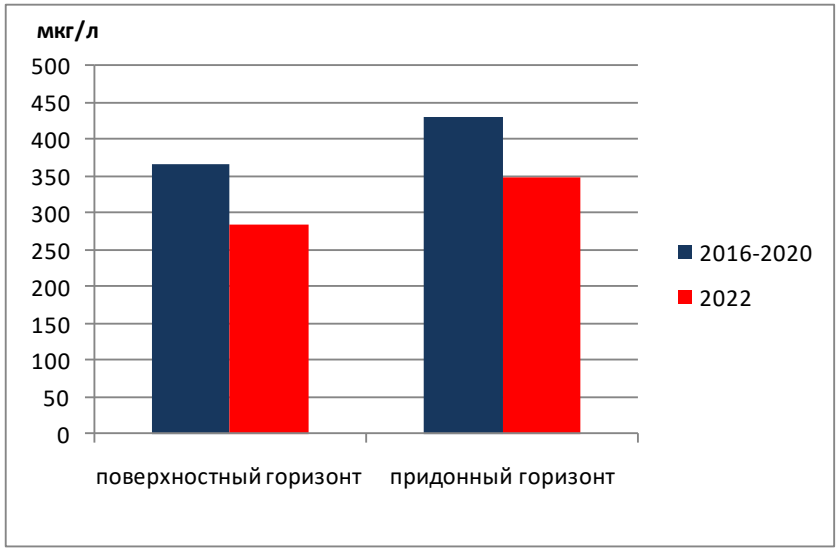


Рисунок 42 – Содержание кремния на акватории векового океанографического разреза ГСН IV за 2022/2016-2020 гг.

Концентрация НУ в районе ГСН IV распределялась равномерно в течение всего периода наблюдений. Средние значения НУ в 2022 г. составили 0,06 мг/л (1,2 ПДК) и 0,05 мг/л в поверхностном и придонном горизонте соответственно (рисунок 43). По сравнению с предшествующим периодом концентрация НУ изменилась незначительно. Максимальная концентрация в 2022 г. составила 0,06 мг/л в поверхностном горизонте. В отчетном году превышение ПДК в 1,2 раза было зарегистрировано на трех пунктах наблюдений из четырех [19].

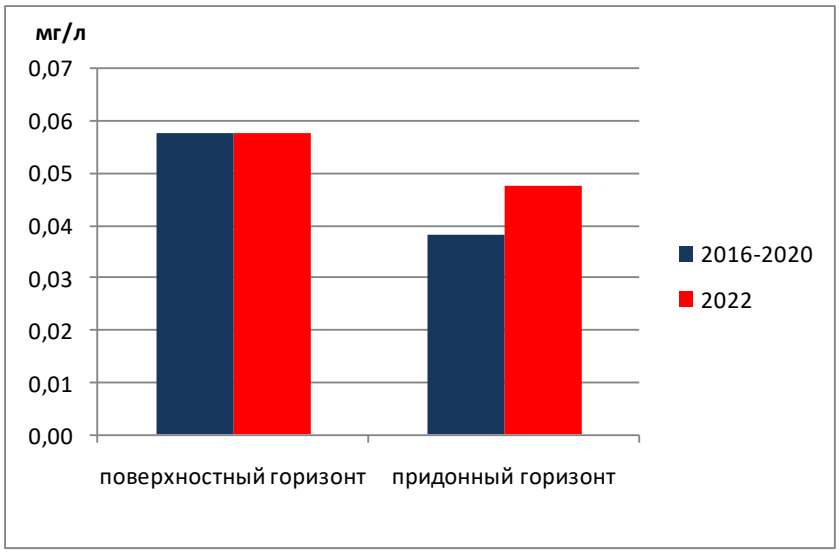


Рисунок 43 – Содержание НУ на акватории векового океанографического разреза ГСН IV за 2022/2016-2020 гг.

Уровень СПАВ сократился относительно предыдущего периода в 4,5 раза. Средняя концентрация в отчетном году составила в поверхностном и придонном горизонте соответственно 0,02 и 0,01 мг/л. Распределение концентрации СПАВ в 2022 году было достаточно равномерным (рисунок 44).

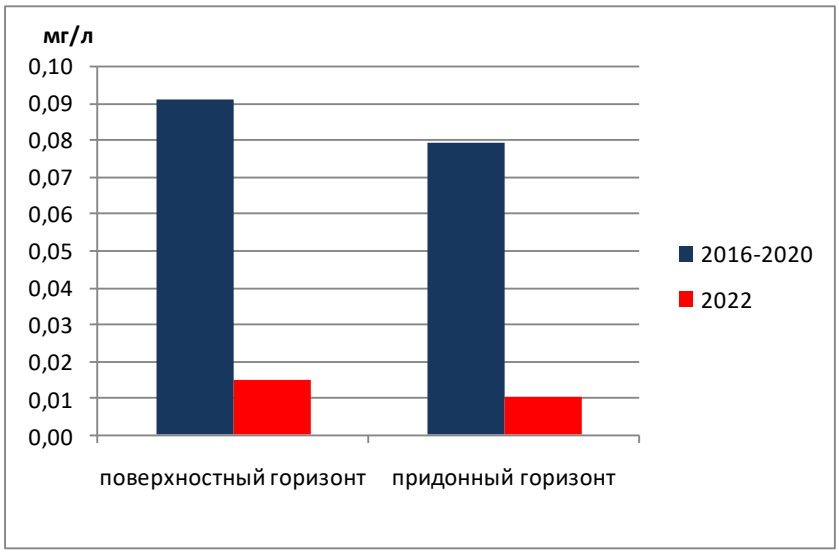


Рисунок 44 – Содержание СПАВ на акватории векового океанографического разреза ГСН IV за 2022/2016-2020 гг.

Для оценки состояния и загрязнения морской среды использовался индекс загрязненности вод (ИЗВ) [1]. Расчет индекса загрязненности в отчетном году показал, что воды поверхностного и придонного слоя Северного Каспия в исследуемых районах относятся ко II классу качества вод «чистые». В исследованиях отмечается, что по сравнению с истекшим пятилетним периодом в 2022 г. уровень загрязненности снизился более чем в два раза. В течение периода 2016-2020 гг. воды в районе акватории ГСН III и IIIа оценивались как «загрязненные» (IV класс качества), а в районе ГСН IV – как «умеренно загрязненные» (III класс) (таблица 8).

Таблица 8 – Индекс загрязненности вод Северного Каспия в 2022 г. и за период 2016-2020 гг.

Разрез	Горизонт	2022 г.	2016-2020 гг.
ГСН III	поверхностный	0,7 «чистые» (II класс)	1,7 «загрязненные» (IV класс)
	придонный	0,6 «чистые» (II класс)	1,7 «загрязненные» (IV класс)
ГСН IIIа	поверхностный	0,8 «чистые» (II класс)	1,7 «загрязненные» (IV класс)
	придонный	0,8 «чистые» (II класс)	1,6 «загрязненные» (IV класс)
ГСН IV	поверхностный	0,7 «чистые» (II класс)	0,9 «умеренно загрязненные» (III класс)
	придонный	0,6 «чистые» (II класс)	0,7 «чистые» (IV класс)

Средний Каспий. Состояние и загрязнение вод в Среднем Каспии оценивалось в 2022 г. по результатам исследовательских экспедиции Росгидромета на стационарных пунктах наблюдений у западного побережья Республики Дагестан (Лопатин, Терек,

Сулак, Махачкала, Избербаш и Дербент) (таблица 9). Концентрации тяжелых металлов (Zn и Cu) определялись только на трех станциях в Среднем Каспии (Лопатин, Терек и Сулак).

В 2022 г. содержание растворенного кислорода в поверхностном и придонном горизонте не опускалось ниже допустимого уровня. Минимальное значение (7,97 мгO_2/л), также как и максимальное (9,76 мгO_2/л), было зарегистрировано у стационарного пункта Махачкала (таблица 9, рисунок 45). Следует отметить, что концентрация кислорода снижалась в направлении с севера на юг.

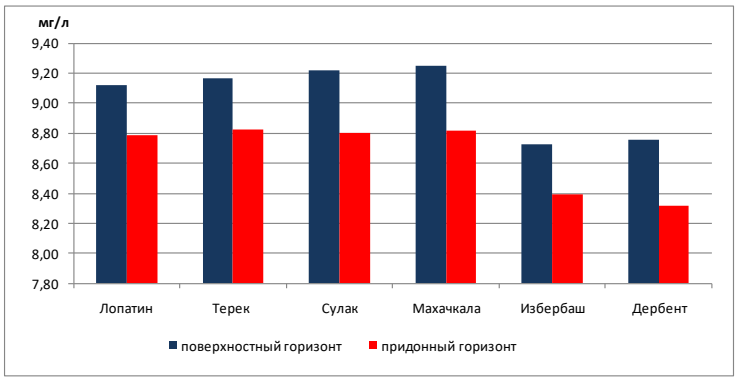


Рисунок 45 – Содержание растворенного кислорода у дагестанского побережья Среднего Каспия за 2022 г.

Пространственное распределение водородного показателя в 2022 г. имело иную тенденцию, на протяжении года оно было достаточно однородным, однако среднестатистические показатели концентрации увеличивались в южном направлении. Наибольшее значение pH зарегистрировано на посту Сулак, оно составило 8,47 ед. pH (рисунок 46).

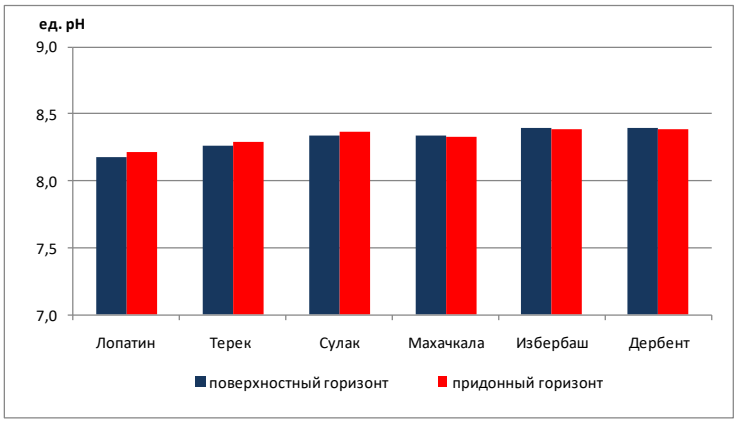


Рисунок 46 – Водородный показатель у дагестанского побережья Среднего Каспия за 2022 г.

Таблица 9 – Содержание загрязняющих веществ в Среднем Каспии у западного побережья Республики Дагестан

Параметр	Горизонт	Лопатин			Терек			Сулак			Махачкала			Избербаш			Дербент		
		ср. знач	мин	макс	ср. знач	мин	макс	ср. знач	мин	макс	ср. знач	мин	макс	ср. знач	мин	макс	ср. знач	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	9,12	8,87	9,48	9,17	8,94	9,51	9,22	9,02	9,40	9,25	8,77	9,76	8,73	8,66	8,81	8,76	8,71	8,81
	дно	8,78	8,58	9,38	8,83	8,47	9,32	8,80	8,13	9,25	8,82	7,97	9,58	8,39	8,29	8,53	8,32	8,29	8,35
pH, ед. pH	пов	8,18	7,80	8,33	8,27	8,01	8,44	8,34	8,13	8,47	8,33	8,28	8,40	8,39	8,36	8,41	8,40	8,40	8,40
	дно	8,22	7,92	8,35	8,29	8,00	8,49	8,37	8,20	8,47	8,32	8,27	8,37	8,38	8,35	8,40	8,39	8,39	8,39
Аммонийный азот, мкг/л	пов	341,0	254,0	378,0	343,0	320,0	364,0	317,3	261,0	345,0	354,1	335,0	370,0	395,3	392,0	398,0	387,5	387,0	388,0
	дно	305,5	274,0	386,0	285,0	268,0	307,0	259,5	244,0	274,0	275,2	236,0	315,0	301,3	300,0	303,0	297,0	296,0	298,0
Нитритный азот, мкг/л	пов	1,82	1,46	2,01	1,73	1,60	1,90	1,70	1,49	1,99	2,08	1,90	2,21	1,80	1,78	1,82	1,54	1,52	1,56
	дно	1,62	1,40	1,88	1,51	1,37	1,64	1,47	1,22	1,64	1,73	1,15	2,06	1,60	1,50	1,66	1,31	1,28	1,34
Нитратный азот, мкг/л	пов	18,33	17,20	22,10	17,15	15,40	19,40	15,52	1,99	18,00	16,45	14,60	18,00	15,30	14,80	15,80	14,65	14,60	14,70
	дно	14,86	12,10	17,20	14,13	12,30	16,10	13,34	1,64	15,40	14,05	10,70	16,90	12,03	11,70	12,40	11,25	11,20	11,30
Кремний, мкг/л	пов	262,9	245,0	300,0	300,9	287,0	315,0	313,0	241,0	488,0	337,5	320,0	350,0	339,0	336,0	341,0	330,5	327,0	334,0
	дно	358,2	329,0	387,0	388,3	368,0	450,0	385,7	309,0	430,0	442,6	417,0	465,0	455,3	451,0	462,0	465,5	464,0	467,0
Минеральный фосфор, мкг/л	пов	11,38	6,40	14,20	11,90	8,50	15,00	13,27	9,60	14,50	13,96	11,40	15,80	13,80	13,70	13,90	13,85	13,70	14,00
	дно	8,96	6,00	11,70	9,66	7,10	15,20	9,53	8,20	10,60	10,56	8,20	12,70	10,53	10,00	11,20	10,95	10,70	11,20
НУ, мг/л	пов	0,05	0,04	0,06	0,06	0,05	0,06	0,06	0,04	0,07	0,06	0,05	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	0,02	0,05	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05
Фенолы, мкг/л	пов	3,42	2,00	4,00	3,60	3,00	5,00	3,53	3,00	5,00	4,26	3,00	6,00	3,33	3,00	4,00	3,50	3,00	4,00
	дно	2,58	2,00	3,00	2,40	1,00	4,00	2,13	1,00	3,00	3,19	2,00	4,00	2,33	2,00	3,00	2,00	2,00	2,00

Продолжение таблицы 9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
СПАВ, мг/л	пов	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,05	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	-	-	-	-	-	
	дно	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02	0,18	-	-	-	-	-	-
Цинк, мкг/л	пов	3,13	3,00	3,30	1,83	1,80	1,90	1,77	1,60	2,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	дно	2,58	2,50	2,60	1,70	1,60	1,90	1,45	1,30	1,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Медь, мкг/л	пов	4,53	4,50	4,60	3,25	3,10	3,30	3,14	2,90	3,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	дно	2,60	2,50	2,70	2,20	2,10	2,40	2,59	2,30	2,90	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Распределение содержания биогенных элементов в Среднем Каспии носило неоднородный характер. Самое высокое среднее значение аммонийного азота в поверхностном горизонте наблюдалось на южной станции: Дербент; а самое высокое среднее в придонном горизонте – на самой северной станции Среднего Каспия: Лопатин (рисунок 47). Колебания концентрации NH_4^+ были в диапазоне 236,0-398,0 мкг/л.

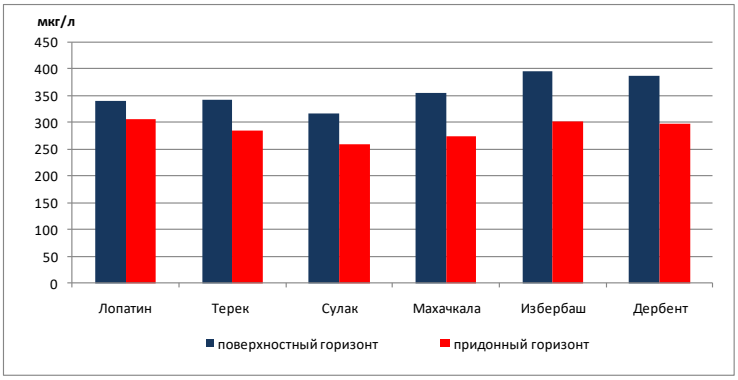


Рисунок 47 – Содержание аммонийного азота у дагестанского побережья Среднего Каспия за 2022 г.

Концентрация нитритного азота в Среднем Каспии колебалась от 1,15 мкг/л до 2,21 мкг/л, экстремальные значения были зарегистрированы на станции Махачкала, где наблюдалось и самое высокое среднегодовое значение в поверхностном слое и у дна. На станциях южнее Махачкалы отмечается постепенное снижение концентрации нитритов, в северном районе исследуемой акватории распределение NO_2 носило однородный характер (рисунок 48).

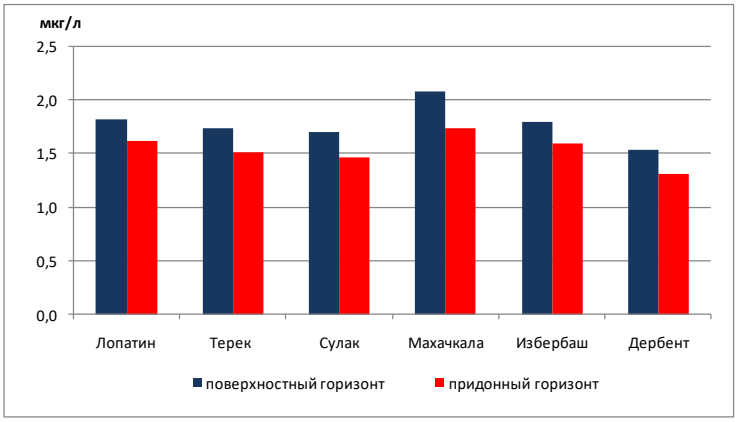


Рисунок 48 – Содержание нитритного азота у дагестанского побережья Среднего Каспия за 2022 г.

Особенностью пространственного распределения нитратного азота в 2022 г. является то, что с севера на юг его среднегодовая концентрация плавно снижается (рисунок 49). Диапазон значений составил от 10,7 мкг/л в придонном горизонте на станции Махачкала до 22,1 мкг/л в поверхностном горизонте на станции Лопатин.

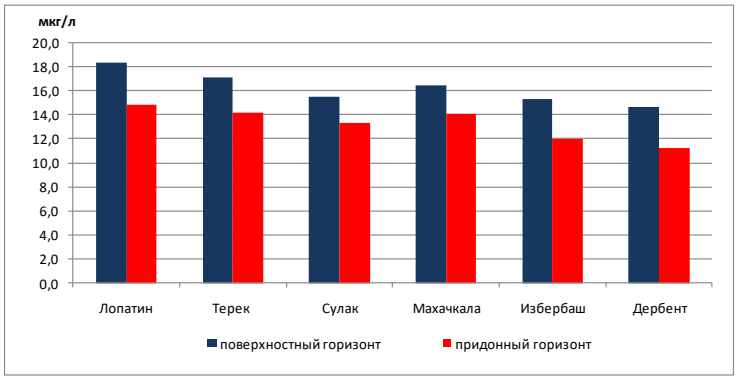


Рисунок 49 – Содержание нитратного азота у дагестанского побережья Среднего Каспия за 2022 г.

Пространственная динамика концентрации минерального фосфора имела иную направленность. Среднегодовые значения увеличивались с севера на юг до станции Махачкала, а южнее данной точки практически не изменялись (рисунок 50). Минимальное значение было зарегистрировано в придонном горизонте на уровне 6,0 мкг/л (станция Лопатин), максимум PO_4 составил 15,8 мкг/л (станция Махачкала).

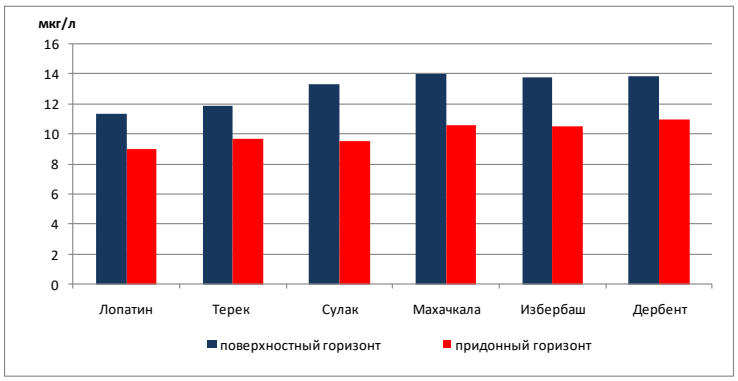


Рисунок 50 – Содержание минерального фосфора у дагестанского побережья Среднего Каспия за 2022 г.

Содержание кремния в воде Среднего Каспия увеличивалось в южном направлении. Диапазон концентрации составил 241,0-467,0 мкг/л, среднегодовые значения представлены на рисунке 51.

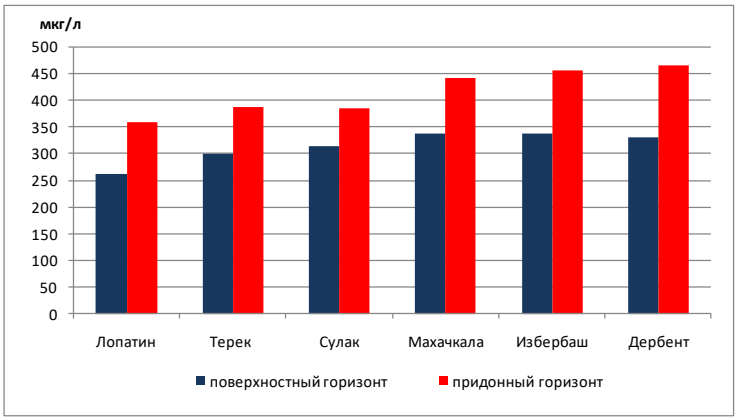


Рисунок 51 – Содержание кремния у дагестанского побережья Среднего Каспия за 2022 г.

Пространственная изменчивость концентрации НУ в Среднем Каспии в 2022 г. была незначительной (рисунок 52). Среднегодовые концентрации в поверхностном горизонте на всех исследуемых пунктах, кроме пункта Лопатин, превышали уровень ПДК в 1,2 раза, среднее содержание НУ в придонном горизонте находилось в пределах установленного норматива. Самые высокие значения концентрации были отмечены на станциях Сулак и Махачкала (1,4 ПДК).

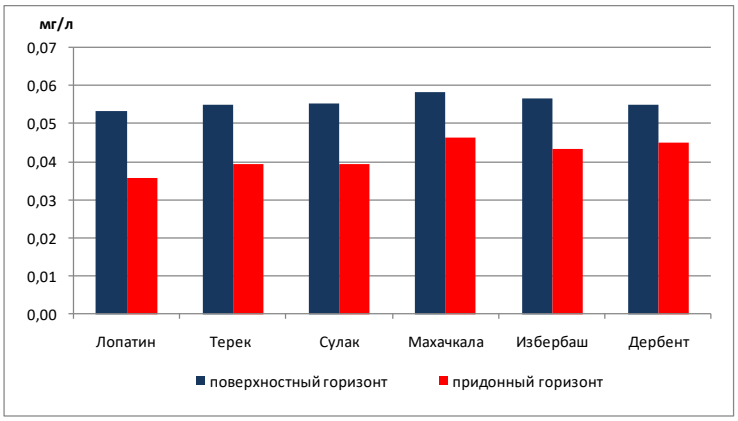
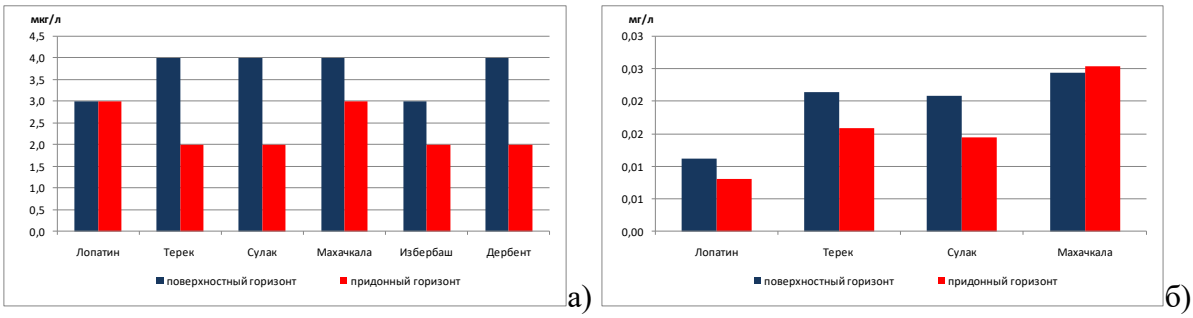


Рисунок 52 – Содержание НУ у дагестанского побережья Среднего Каспия за 2022 г.

В 2022 г. в водах Среднего Каспия определялось содержание нестойких органических загрязнителей (рисунок 53). В результате анализа установлено, что концентрация фенолов на исследуемой акватории носила неоднородный характер и превышала установленный норматив на всех станциях мониторинга в 2-6 раз. Максимумы превышали ПДК в 5-6 раз.

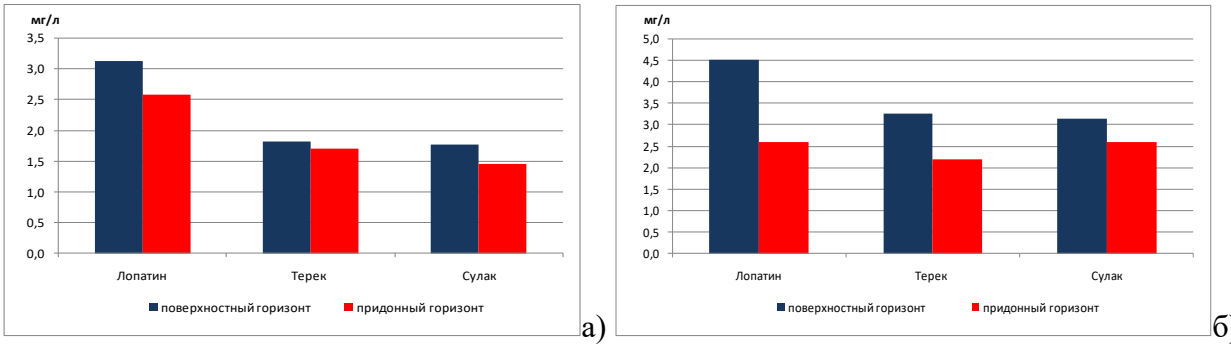
СПАВ определялись на северных станциях до пункта Махачкала, самое высокое значение зарегистрировано на станции Махачкала. Превышений ПДК в 2022 г. не регистрировалось. Диапазон концентраций составил 0,01-0,05 мг/л, максимум наблюдался на станции Терек (рисунок 53).



а) б)

Рисунок 53 – Содержание нестойких органических загрязнителей у дагестанского побережья Среднего Каспия за 2022 г. (а – фенолы, б – СПАВ)

Количество ТМ определялось на трех станциях на севере Среднего Каспия (Лопатин, Терек, Сулак). Концентрация цинка и меди снижалась в южном направлении, превышений установленных нормативов по исследуемым металлам не обнаружено. Концентрация цинка колебалась в 2022 г. от 1,3 мкг/л до 3,3 мкг/л. Диапазон колебаний концентрации меди составил от 2,1 до 4,6 мкг/л (рисунок 54).



а) б)

Рисунок 54 – Содержание ТМ у дагестанского побережья Среднего Каспия за 2022 г. (а – цинк, б – медь)

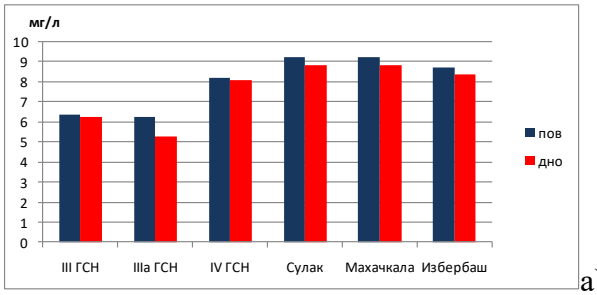
Для оценки состояния и загрязнения морской среды в Среднем Каспии использовался ИЗВ [1]. Расчет индекса загрязненности в отчетном году проводился с использованием значений концентрации растворенного кислорода, НУ, цинка и меди. Расчет показал, что воды поверхностного и придонного слоя Среднего Каспия в исследуемых районах отличались по уровню загрязненности. Морская среда

поверхностного горизонта на всех станциях мониторинга относится к IV классу качества вод «загрязненные», а придонный слой характеризуется как «умеренно загрязненный» (III класс) (таблица 10).

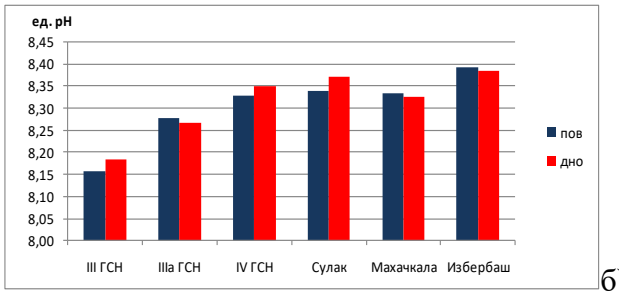
Таблица 10 – Индекс загрязненности вод у дагестанского побережья Среднего Каспия в 2022 г.

Разрез	Горизонт	2022 год
Лопатин	поверхностный	1,5 «загрязненные» (IV класс)
	придонный	1,1 «умеренно загрязненные» (III класс)
Терек	поверхностный	1,5 «загрязненные» (IV класс)
	придонный	1,1 «умеренно загрязненные» (III класс)
Сулак	поверхностный	1,5 «загрязненные» (IV класс)
	придонный	1,0 «умеренно загрязненные» (III класс)
Махачкала	поверхностный	1,5 «загрязненные» (IV класс)
	придонный	1,2 «умеренно загрязненные» (III класс)
Избербаш	поверхностный	1,3 «загрязненные» (IV класс)
	придонный	1,0 «умеренно загрязненные» (III класс)
Дербент	поверхностный	1,3 «загрязненные» (IV класс)
	придонный	0,9 «умеренно загрязненные» (III класс)

Пространственная оценка уровня загрязнения Северного и Среднего Каспия проводилась в 2022 г. по трем вековым разрезам (III, IIIа и IV ГСН) и на стационарных пунктах наблюдений (Сулак, Махачкала, Избербаш). Сравнительный анализ содержания кислорода показал, что концентрация O_2 возрастает в южном направлении до станции Махачкала, затем начинает снижаться. Водородный показатель также увеличивается с севера на юг, но на станции Махачкала общий тренд прерывается, в этом районе pH соответствует величине водородного показателя на границе Северного и Среднего Каспия (рисунок 55).



а)



б)

Рисунок 55 – Пространственное распределение кислорода (а) и водородного показателя (б) в Северном и Среднем Каспии в 2022 г.

Пространственная динамика биогенных элементов носила неоднородный характер (рисунок 56). В южном направлении содержание иона аммония возрастало. Резкое увеличение концентрации аммонийного азота почти в 20 раз наблюдается на границе между Северным и Средним Каспием по сравнению с северной частью моря. Распределение нитритного азота по вертикали и горизонтали носило неоднородный характер. Самое высокое среднегодовое значение нитратов отмечено на станциях III ГСН, самое низкое – на станциях разреза IIIа ГСН. В Среднем Каспии пространственное распределение нитратного азота было равномерным. Динамика минеральной формы фосфора носила тот же характер, что и распределение иона аммония, в прибрежной зоне Среднего Каспия концентрация PO_4 была больше, чем в Северном Каспии в 30 раз.

Снижение NH_4 в Северном Каспии может говорить об активизации продукционных процессов [21]. Отношение минеральных форм азота и фосфора в 2022 г. свидетельствует о лимитирующей роли фосфатов в формировании биопродуктивности.

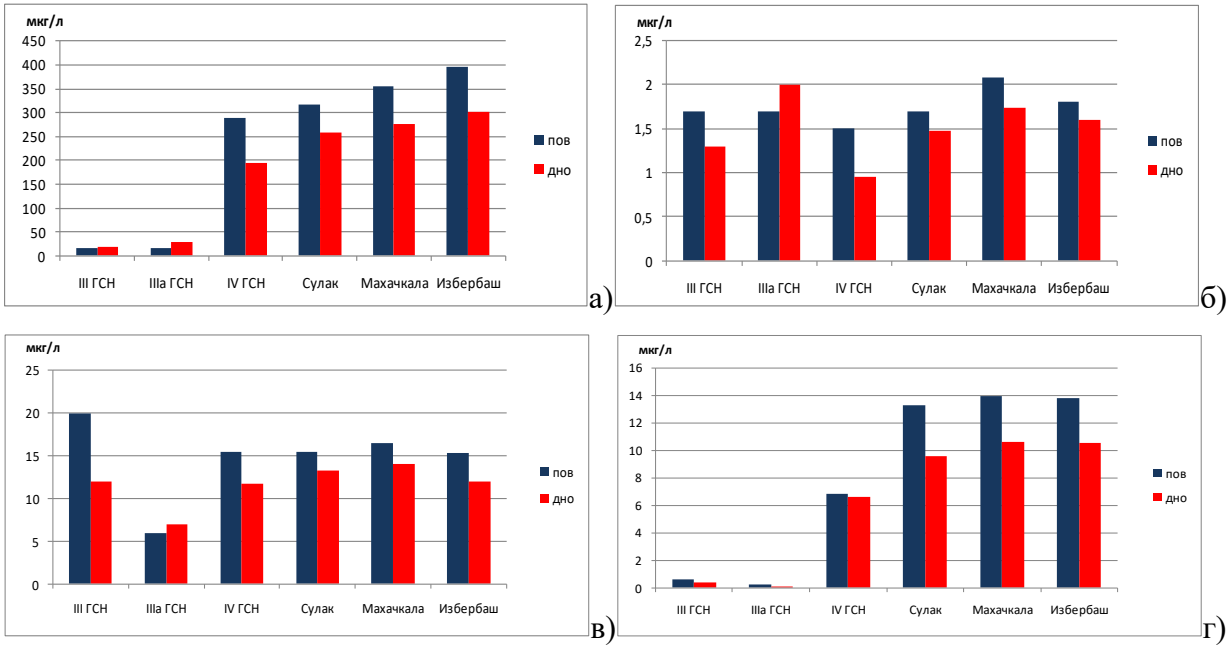


Рисунок 56 – Пространственное распределение биогенных веществ в Северном и Среднем Каспии в 2022 г. (а – аммонийный азот, б – нитритный азот, в – нитратный азот, г – минеральный фосфор)

Как известно [5, 16], содержание НУ в Северном Каспии в большей степени зависит от стока р. Волги. Наиболее высокая среднегодовая концентрация НУ в Северном Каспии зарегистрирована в его западной части, куда и направлен основной объем стока р. Волги. Здесь следует отметить, что сток НУ значительно сократился за последние пять

лет. В Среднем Каспии среднегодовая концентрация была значительно выше, чем в Северном Каспии, и распределялась вдоль берега равномерно (рисунок 57).

Пространственное распределение СПАВ имело иной характер. Наибольшая среднегодовая концентрации зарегистрирована в районе ВР ГСН III. В целом концентрации СПАВ в Северном Каспии распределялись равномерно. На границе между северной и средней частями моря отмечено резкое снижение концентрации, более чем в пять раз. В прибрежной зоне Среднего Каспия СПАВ также имели однородный характер распределения (рисунок 57).

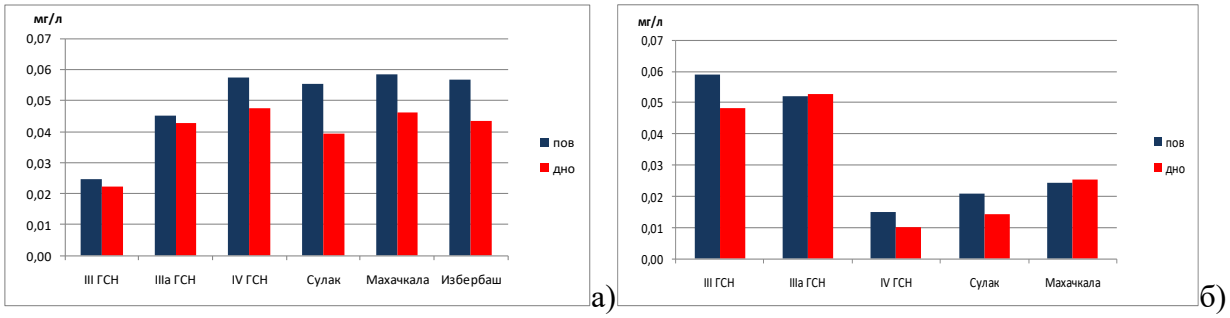


Рисунок 57 – Пространственное распределение НУ и СПАВ в Северном и Среднем Каспии в 2022 г. (а – НУ, б – СПАВ)

Сравнительный анализ комплексной характеристики загрязнения вод исследуемой акватории показал возрастание нагрузки на экосистему в южном направлении. Самыми загрязненными водами оказались воды экосистемы в северном районе Среднего Каспия, наиболее благоприятные условия окружающей среды по ИЗВ формируются в районе ВР ГСН IV (рисунок 58).

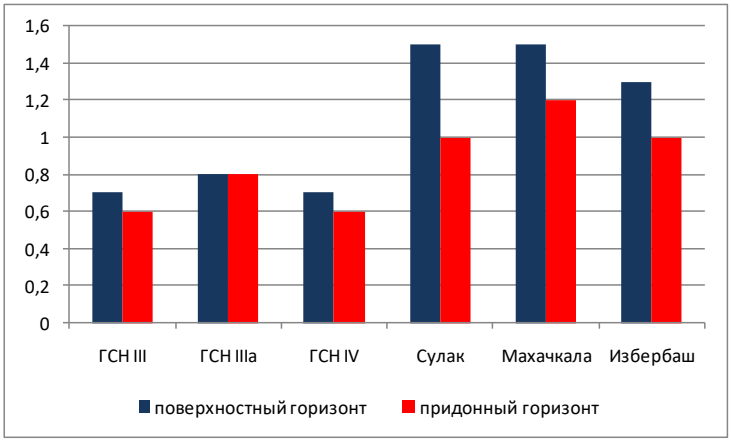


Рисунок 58 – Пространственное распределение ИЗВ в Северном Каспии и Среднем Каспии в 2022 г.

В соответствии с РД 52.15.880-2019 для исследуемой акватории была дана характеристика загрязнения, определяющаяся кратностью и повторяемостью превышения ПДК. В 2022 г. случаи превышения установленных нормативов регистрировались только в Среднем Каспии. Согласно проведенным исследованиям для акватории Среднего Каспия характерно загрязнение НУ и фенолами низкого и среднего уровня (таблица 11). Случаев высокого и экстремально высокого загрязнения не выявлено [22].

Таблица 11 – Повторяемость и кратность зарегистрированных случаев превышения ПДК в 2022 г.

Параметр, ед. изм	НУ		Фенолы	
	пов	дно	пов	дно
повторяемость, %	57,5	-	100,0	96,2
кратность, ед.	1,4	-	6,0	4,0

Воды исследуемой акватории оценивались также по эколого-санитарным (трофо-сапробиологическим) показателям, с помощью комплексной экологической классификации качества поверхностных вод суши, предложенной О.П. Оксиюком с соавторами [20]. Согласно этой классификации северокаспийские воды, а также воды в районе границы Северного Каспия и Среднего Каспия оцениваются как «чистые». Морская экосистема в прибрежной зоне Республики Дагестан характеризуется как «удовлетворительной чистоты» (таблица 12).

Таблица 12 – Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод в Северном Каспии и Среднем Каспии

Район мониторинга	Разряд качества вод	Класс качества вод
ГСН III	2а «очень чистая»	«чистая»
ГСН IIIа	2а «очень чистая»	«чистая»
ГСН IV	2б «вполне чистая»	«чистая»
Сулак	3а «достаточно чистая»	«удовлетворительной чистоты»
Махачкала	3а «достаточно чистая»	«удовлетворительной чистоты»
Избербаш	3б «слабо загрязненная»	«удовлетворительной чистоты»

Известно, что биогенные вещества, особенно минеральные соединения, являются основой питания фитопланктона. Значимость органических соединений азота и фосфора очевидна, хотя они утилизируются фитопланктоном избирательно и в меньшей степени

[21]. Соотношение фосфора и азота в морской воде составляет 1:15 и примерно отражает стехеометрический состав фитопланктона. Диспропорция «нормального» соотношения может вызвать ухудшение развития фитопланктона и, в конечном итоге, продуцентов следующих порядков.

До зарегулирования стока р. Волги Волгоградской гидроэлектростанцией (ГЭС) в море сохранялось соотношение общего P и N 1:21 – 1:24. В современных условиях (2022 г.) обнаруживается нарушение азотно-фосфорного баланса в пользу азотсодержащих соединений (таблица 13, рисунок 59).

Таблица 13 – Соотношение Рмин:Nмин в водах Северного Каспия и Среднего Каспия

Район	2022 г.	2021 г.
Северный Каспий	1:50	1:75
ВР ГСН IV	1:33	-
Средний Каспий	1:10	1:17

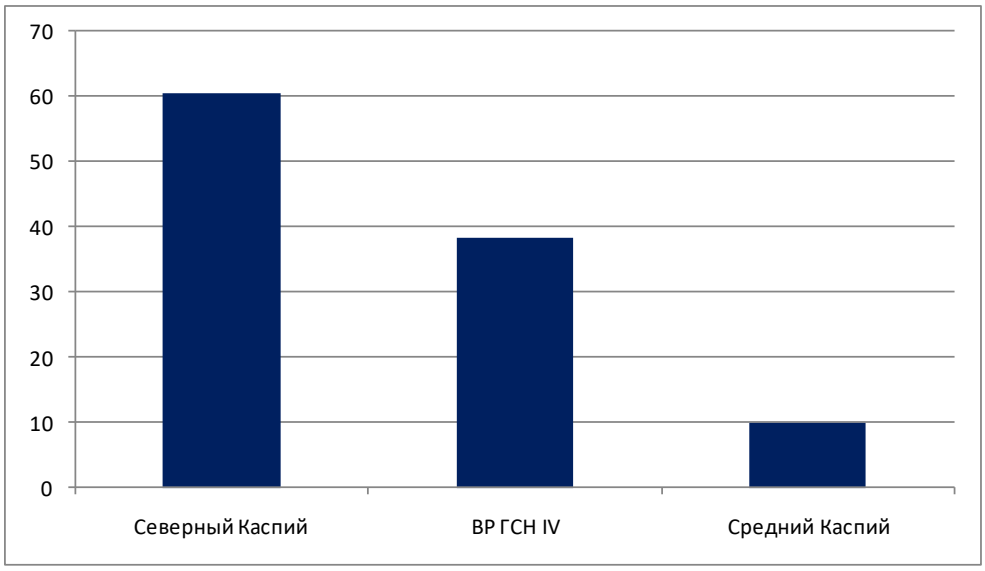


Рисунок 59 – Соотношение Nмин:Рмин в водах Северного Каспия и Среднего Каспия в 2022 г.

В 2022 г. по сравнению с 2021 г. нарушение азотно-фосфорного баланса в пользу азотсодержащих соединений снизилось. В Северном Каспии и на его границе со Средним Каспием распределение биогенов может лимитировать продуцирование фитопланктоном органического вещества. В этом районе формируются условия для развития зеленых водорослей. В Среднем Каспии соотношение азота и фосфора 1:10 может свидетельствовать о высоком потреблении биогенов фитопланктоном и о благоприятных

условиях для развития сине-зеленых водорослей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В 2022 г. режимные наблюдения за загрязнением поверхностных вод суши проводились Росгидрометом ежемесячно в период навигации на 8 постах, расположенных в верхней и средней зонах дельты р. Волги. Гидрохимическими наблюдениями за качеством поверхностных вод бассейна р. Волги в 2022 г. государственной наблюдательной сетью были охвачены 5 водотоков дельтовой части, на которых функционировали 8 пунктов наблюдений и 15 створов. Всего в ходе наблюдений в дельте р. Волги в 2022 г. определялось 43 показателя химического состава и загрязненности речных вод, из которых 20 показателей нормируются в рыбохозяйственных водоемах России.

Оценка основных гидрохимических показателей в 2022 г. выявила снижение уровня биологического потребления кислорода, как и общей доли органики в воде, которая определялась методом ХПК, отмечено перераспределение количественного состава форм биогенов в водотоках дельты и снижение концентрации таких ЗВ, как железо, цинк, никель, ртуть и НУ.

Динамика комплексного показателя качества вод (УКИЗВ) говорит о снижении нагрузки на водные объекты дельты в отчетном году по сравнению с предшествующим годом. Наиболее высокие значения индекса зафиксированы в районе гидрологических постов ПОС и ЦКК, качество воды всех водотоков дельты в 2022 г. соответствовало второму классу «слабо загрязненных» вод. По трофо-сапробиологическим показателям водотоки дельты р. Волга относятся ко второму классу «чистых» вод.

Оценка качества морской среды устьевого взморья р. Волги в 2022 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 наблюдения прибрежной зоны Республики Дагестан (Лопатин, Терек, Сулак, Махачкала, Избербаш, Дербент). Наблюдения охватывали основные гидрохимические параметры: уровень биогенов, НУ и СПАВ.

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 и придонного горизонта Северного Каспия в исследуемых районах относятся ко II классу качества вод «чистые». По сравнению с истекшим пятилетним периодом в 2022 г. уровень

загрязненности снизился более чем в два раза.

Воды поверхностного и придонного слоя Среднего Каспия в исследуемых районах отличались по уровню загрязненности. Морская среда поверхностного горизонта на всех станциях мониторинга относится к IV классу качества вод «загрязненные», а придонный слой характеризуется как «умеренно загрязненный» (III класс).

Сравнительный анализ комплексной характеристики загрязнения вод исследуемой акватории показал возрастание нагрузки на экосистему в южном направлении. Самыми загрязненными водами оказались воды экосистемы в северном районе Среднего Каспия, наиболее благоприятные условия окружающей среды по ИЗВ формируются в районе ВР ГСН IV.

Исследуемая акватория оценивалась также по эколого-санитарным (трофо-сапробиологическим) показателям, с помощью комплексной экологической классификации качества поверхностных вод суши, предложенной О.П. Оксиюком с соавторами. Согласно этой классификации северокаспийские воды, а также вода в районе границы Северного Каспия и Среднего Каспия оценивается как «чистая». Морская экосистема в прибрежной зоне Республики Дагестан характеризуется как «удовлетворительной чистоты».

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. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и качестве вод морей и морских устьев рек. Том 2. – Баку: Гидрометеоиздат, 1983. – 341 с.

8. 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. Отв. ред.: Полонский В.Ф. и др. – Москва: ГЕОС, 1998. – 278 с.

9. Салманов М.А. Экология и биологическая продуктивность Каспийского моря. – Баку : ПИЦ Исмаил, 1999. – 398 с.

10. Максимова М.П. Сравнительная гидрохимия морей. Влияние гидродинамических процессов на потоки взвешенного вещества в океане // Новые идеи в океанологии. Физика. Химия. Биология. – М. : Наука, 2004. – Т. 1. – С. 168–189.

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

12. Комплексные гидрометеорологические атласы Каспийского и Аральского морей. – Л: Гидрометеоиздат, 1963. – 179 с.

13. Глумов И.Ф., Маловицкий Я.П., Новиков А.А., Сенин Б.В. Региональная геология и нефтегазоносность Каспийского моря. – Москва: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2004. – 342 с.

14. Скоробогатько А.Н., Немцов Н.И., Гумаров Р.К. Особенности геологического строения и перспективы нефтегазоносности морской части Терско-Каспийского краевого прогиба в пределах российского сектора Каспия // Проблемы ресурсного обеспечения газодобывающих районов России до 2030 г. Сборник научных трудов. – Москва: ВНИИГАЗ, 2010. – С. 302-308.

15. Катунин Д.Н. Гидроэкологические основы формирования экосистемных процессов в Каспийском море и дельте реки Волги. – Астрахань: Изд-во КаспНИРХ, 2014. – 237 с.

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

17. Никаноров А.М., Брызгало В.А., Решетняк О.С. Реки России в условиях чрезвычайных экологических ситуаций. – Ростов-на-Дону: НОК, 2012. – 310 с.

18. 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 06.11.2023).

19. 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 21.05.2023).

20. Оксиюк О.П., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П. и др. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиологический журнал. – 1993 – Т. 29. – № 4. – С. 62-77.

21. 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.

22. 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 10.12.2023).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Средние значения показателей состояния и загрязнения дельты р. Волги в 2021-2022 гг.

Параметр	ВЛ		ПОС		ЦКК		Кривая Болда		Подчалык		Камызяк		Ильинка		Красный Яр		ПДК
	2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Температура, °С	15,37	14,04	14,96	13,82	16,19	15,47	15,64	14,54	15,82	12,15	15,41	13,95	16,15	15,55	14,73	13,65	
Взвешенные вещества, мг/л	28,02	14,04	28,95	12,76	31,80	14,12	28,30	13,54	30,03	13,26	28,12	12,81	30,50	13,79	26,07	15,31	10,0
pH, ед pH	8,09	8,20	8,05	8,13	8,03	8,16	8,19	8,27	8,09	8,19	8,10	8,19	8,16	8,16	8,09	8,20	8,5
Растворенный кислород, мг/л	10,67	10,30	9,69	10,36	10,36	10,08	11,12	10,72	10,29	10,69	10,32	10,52	10,15	9,99	10,78	10,40	6,0
Степень насыщения, %	105,15	98,23	94,28	97,98	104,62	99,37	111,82	104,17	103,82	97,36	102,13	100,48	105,33	98,46	104,45	98,06	
Углекислый газ, мг/л	2,37	1,98	2,63	1,93	2,48	1,92	2,00	1,83	2,40	2,13	2,24	1,99	2,27	1,81	2,50	2,11	
Магний, мг/л	14,70	10,98	15,62	10,66	14,80	11,12	14,58	11,28	15,15	11,86	14,67	11,17	15,60	11,67	15,23	11,49	
Хлориды, мг/л	30,25	34,10	30,46	34,35	30,06	34,63	28,43	34,50	30,04	33,21	27,98	33,94	30,46	34,81	29,67	34,46	
Сульфаты, мг/л	74,07	65,97	77,16	67,49	76,56	68,73	75,42	67,91	77,11	66,56	75,48	67,35	79,45	67,38	74,59	65,53	
Жёсткость, мг-экв/л	3,40	3,48	3,48	3,45	3,40	3,50	3,44	3,50	3,42	3,46	3,41	3,50	3,43	3,48	3,44	3,47	
Кальций, мг/л	44,00	51,66	44,01	51,66	43,81	51,76	44,92	51,68	44,09	49,56	44,10	51,69	44,49	50,73	43,75	50,65	
ХПК, мг/л	25,51	22,63	24,38	22,22	24,80	22,35	23,79	20,78	24,60	22,36	24,52	21,61	24,43	22,51	23,92	22,11	15,0
$БПК_5$	2,14	1,52	2,15	1,33	2,14	1,36	2,17	1,32	2,16	1,61	2,27	1,39	2,18	1,30	2,11	1,48	2,1
Азот аммонийный, мг/л	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,50
Нитритный азот, мг/л	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,08
Нитратный азот, мг/л	0,21	0,22	0,16	0,19	0,25	0,25	0,25	0,28	0,21	0,24	0,19	0,23	0,18	0,22	0,19	0,27	40,0
Азот суммарный минеральный, мг/л	0,22	0,26	0,17	0,22	0,27	0,28	0,21	0,32	0,19	0,27	0,17	0,27	0,10	0,26	0,21	0,29	

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Фосфор минеральный, мг/л	0,02	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,05
Кремний, мг/л	14,15	5,81	13,15	5,53	14,21	5,27	13,43	5,12	13,77	5,39	13,02	4,90	13,53	5,92	14,01	5,32	
Электропроводность	386,60	454,38	382,94	446,68	386,27	457,07	387,56	451,64	386,42	430,89	381,50	452,21	390,43	454,60	379,17	444,21	
Железо общее, мг/л	0,17	0,09	0,18	0,15	0,19	0,11	0,18	0,10	0,17	0,10	0,14	0,13	0,15	0,15	0,15	0,11	0,10
Медь, мкг/л	2,21	1,70	2,22	2,36	2,42	2,13	2,43	2,24	2,34	1,95	2,31	2,07	2,31	2,06	2,47	1,72	1,00
Цинк, мкг/л	51,17	35,89	50,44	38,63	54,95	40,51	53,10	35,91	53,55	35,37	51,53	32,69	52,91	34,63	57,99	34,65	10,0
Никель, мкг/л	6,10	3,23	4,65	3,57	5,50	3,39	4,86	3,20	5,49	3,35	5,91	3,01	5,41	8,85	5,54	3,07	10,0
Хром общий, мкг/л	0,31	0,31	0,19	0,31	0,24	0,34	0,25	0,38	0,25	0,34	0,31	0,33	0,23	0,26	0,28	0,30	
Свинец, мкг/л	0,45	0,39	0,37	0,45	0,40	0,36	0,39	0,38	0,41	0,41	0,43	0,36	0,41	0,45	0,42	0,40	6,0
Молибден, мкг/л	1,56	1,04	1,72	1,08	1,91	1,23	1,64	1,32	1,82	1,31	1,70	1,16	1,82	1,06	1,90	1,30	
Кобальт, мкг/л	1,38	1,31	1,40	1,19	1,27	1,28	1,35	1,14	1,38	1,20	1,44	1,18	1,42	1,20	1,62	1,30	
Ртуть, мкг/л	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01
Кадмий, мкг/л	0,20	0,11	0,21	0,12	0,12	0,12	0,07	0,15	0,16	0,13	0,20	0,13	0,16	0,15	0,17	0,11	5,0
Олово, мкг/л	0,63	0,81	0,51	0,72	0,56	0,81	0,56	0,78	0,55	0,83	0,61	0,82	0,52	0,71	0,53	0,76	
Марганец, мкг/л	3,38	3,62	3,45	5,77	4,30	5,23	3,11	4,00	3,64	4,77	3,41	5,32	3,25	3,76	3,27	6,15	10,0
Фенолы, мкг/л	1,0	1,0	1,0	2,0	1,0	2,0	1,0	2,0	1,0	2,0	1,0	1,0	1,0	2,0	1,0	2,0	1,0
Нефтепродукты, мг/л	0,07	0,05	0,07	0,06	0,07	0,07	0,07	0,05	0,07	0,05	0,08	0,05	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05
АПАВ, мг/л	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,50
Сульфиды, 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	
ДДЭ, мкг/л	0,002	0,001			0,001	0,002	0,001	0,001			0,002	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	
ДДТ, мкг/л	0,002	0,001			0,001	0,002	0,002	0,002			0,002	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	
λ - ГХЦГ,мкг/л	0,000	0,000			0,001	0,001	0,001	0,001			0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	
γ - ГХЦГ,мкг/л	0,002	0,001			0,001	0,001	0,001	0,001			0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	