Министерство экологии и природных ресурсов республики Казахстан
НАО «КАЗАХСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ КАСПИЙСКОГО МОРЯ»
(НАО КазНИИКМ)

ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ КАСПИЙСКОГО МОРЯ В КАЗАХСТАНСКОМ СЕКТОРЕ

(заключительный)

Актау, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

1 ВВЕДЕНИЕ 4
2 ГИДРОХИМИЯ И КАЧЕСТВО МОРСКОЙ ВОДЫ 4
2.1 Тяжелые металлы в морской воде 4
2.2 Органические загрязнители 10
2.3 Нефтепродукты 14
2.4 Биогенные элементы 16
3 ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ 17
3.1 Нерестилища реки Урал 17
3.2 Загрязнение бентосных организмов 17
3.3 Деградация нерестилищ осетровых 18
4 РЕКА ЖАЙЫК (УРАЛ): СОСТОЯНИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ 18
4.1 Гидрологическая характеристика 18
4.2 Снижение водности 19
4.3 Загрязнение воды 19
4.4 Воздействие на экосистему Каспия 20
5 ВЛИЯНИЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ МОРЯ НА ЭКОСИСТЕМУ И БИОРАЗНООБРАЗИЕ 20
5.1 Динамика уровня моря 20
5.2 Воздействие на экосистемы 23
5.3 Влияние на биоразнообразие 23
6 ПЛАНКТОННЫЕ СООБЩЕСТВА 24
6.1 Фитопланктон 24
6.2 Зоопланктон 25
7 ОХРАНЯЕМЫЕ МОРСКИЕ ТЕРРИТОРИИ 26
7.1 Экологически и биологически значимые морские районы (EBSA) 26
7.2 Угрозы охраняемым территориям при снижении уровня моря 28
8 ЗАКЛЮЧЕНИЕ 28
8.1 Качество воды 28
8.2 Река Жайык 28
8.3 Снижение уровня Каспийского моря 29
8.4 Биоразнообразие и экосистемы 29

8.5 Необходимые меры 29
9 Результаты измерения ширины осушённой прибрежной зоны Казахстанского сектора Северного Каспия (по материалам аэрофотосъёмки с БПЛА) 30
9.1 Используемые материалы и оборудование 30
9.2 Район и условия работ 30
9.3 Рельеф, почва и ландшафт 32
10 ВЫЯВЛЕННЫЕ КРИТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ 32
11 НАУЧНАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РАБОТЫ 32
12 РЕКОМЕНДАЦИИ 32
13 ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ 33

1 ВВЕДЕНИЕ

Каспийское море является крупнейшим в мире замкнутым водоёмом, имеющим огромное экологическое и экономическое значение для прибрежных государств, включая Казахстан. Казахстанский сектор расположен преимущественно в северо-восточной части моря и характеризуется мелководностью (средняя глубина около 6 метров), высокой биологической продуктивностью и уникальными экосистемами [5].

Северная часть Каспийского моря, к которой относится казахстанский сектор, занимает около 29% общей площади моря, но менее 1% по объёму воды [5]. Эта часть характеризуется переменной соленостью — от 0,1‰ у устьев рек до 10–11‰ по мере продвижения к центральному бассейну. Река Жайык (Урал) является вторым по значимости источником пресной воды для Каспия после Волги и играет ключевую роль в поддержании экосистем северного Каспия [14].

В последние десятилетия экологическое состояние Казахстанской части Каспийского моря и бассейна реки Жайык вызывает серьёзную озабоченность научного сообщества и природоохранных организаций. Комплексное воздействие антропогенных факторов (добыча нефти и газа, промышленное загрязнение, чрезмерный вылов рыбы) и климатических изменений (потепление, изменение режима осадков, снижение уровня моря) создаёт угрозу устойчивости уникальных экосистем региона [5, 17].

Данный отчёт основан на анализе современных научных публикаций за период 2017–2025 годов и представляет комплексную оценку состояния морской среды, качества воды, биоразнообразия и экосистемных процессов в Казахстанской части Каспийского моря и в нижней части реки Жайык.

2 ГИДРОХИМИЯ И КАЧЕСТВО МОРСКОЙ ВОДЫ

2.1 Тяжелые металлы в морской воде

Исследования химического состава морской воды в Казахстанском секторе Каспийского моря выявили значительное загрязнение тяжелыми металлами.

Северная часть Каспия
(район массового скопления каспийских тюленей)

Зимой 2017 г., на участке от месторождения Каламкас через острова Кулалы до села Баутино, во всех пробах морской воды обнаружены превышения предельно допустимых концентраций (ПДК) следующих металлов [1]:

- Ванадий (V): концентрации 0,255–0,741 мг/дм³, что превышает ПДК в 1,5–7,4 раза
- Бериллий (Be): концентрации 0,028–0,089 мг/дм³, превышение ПДК в 140–445 раз
- Сурьма (Sb): концентрации 0,62–0,86 мг/дм³, превышение ПДК в 13,2–17,2 раза

При этом кобальт, медь, железо и хром в пробах не были обнаружены, а содержание других металлов (Ti, Bi, Ag, Al, Sn, Mo) было значительно ниже допустимых уровней (Таблица 1) [1].

Таблица 1 - Результаты химического анализа морской воды на содержание тяжелых металлов

Sample cipher	Determined indicator	Norm according to the normative document, mg/dm³	Results mg/dm³	Sample cipher	Determined indicator	Norm according to the normative document, mg/dm³	Results mg/dm³
1	2	3	4	1	2	3	4
Sample No. 1	pH	6.0-9.0	8.03	Sample No. 2	pH	6.0-9.0	8.04
	Co	0.1	not detected		Co	0.1	not detected
	Cu	1.0	not detected		Cu	1.0	not detected
	Ti	0.1	0.03		Ti	0.1	0.03
	Bi	0.1	0.01		Bi	0.1	0.01
	Ag	0.05	0.002		Ag	0.05	0.001
	V	**0.1**	**0.741 (7.41)**		**V**	**0.1**	**0.701 (7.01)**
	Al	0.5	0.283		Al	0.5	0.193
	Be	**0.0002**	**0.089 (445)**		**Be**	**0.0002**	**0.077 (385)**
	Sb	0.05	0.79		Sb	0.05	0.61
	Sn	-	0.017		Sn	-	0.016
	Fe	0.3	not detected		Fe	0.3	not detected
	Cr	0.5	not detected		Cr	0.5	not detected
	Mo	0.25	0.002		Mo	0.25	0.001
Sample No. 3	pH	6.0-9.0	8.11	Sample No. 4	pH	6.0-9.0	8.02
	Co	0.1	not detected		Co	0.1	not detected
	Cu	1.0	not detected		Cu	1.0	not detected
	Ti	0.1	0.02		Ti	0.1	0.02
	Bi	0.1	0.01		Bi	0.1	0.01
	Ag	0.05	0.001		Ag	0.05	0.001
	V	**0.1**	**0.671 (6.71)**		**V**	**0.1**	**0.345 (3.45)**
	Al	0.5	0.221		Al	0.5	0.201
	Be	**0.0002**	**0.073 (365)**		**Be**	**0.0002**	**0.039 (195)**
	Sb	0.05	0.68		Sb	0.05	0.71
	Sn	-	0.013		Sn	-	0.014
	Fe	0.3	not detected		Fe	0.3	not detected
	Cr	0.5	not detected		Cr	0.5	not detected
	Mo	0.25	0.001		Mo	0.25	0.001

Прибрежная зона Актау и восточное побережье

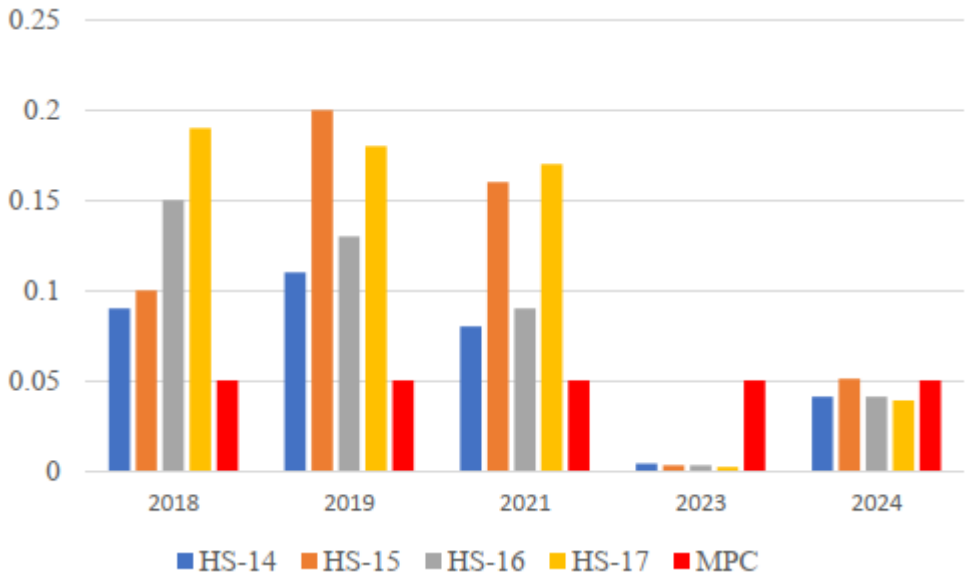
Долгосрочный мониторинг в районе Актау (2018–2024 гг.) [3] показал на исследовательских участках HS-1, HS-2, HS-3 и HS-4 (Рисунок 1) положительную динамику в снижении концентраций тяжелых металлов (Рисунок 2-6).

В морской воде:

- Хром (Cr): в 2018–2021 гг. концентрации превышали ПДК (0,05 мг/л) в 2–4 раза, к 2023 году наблюдалось резкое снижение; в 2024 г. – незначительный рост, но концентрация остается ниже значений ПДК;

– Медь (Cu): в 2018–2019 гг. превышала ПДК (1 мг/л) в 1,5–3,5 раза, к 2023–2024 гг. концентрация снизилась ниже значений ПДК.

Рисунок 1 - Карта расположения гидрологических станций (ГС) в Каспийском море и исследовательских площадок (НП) на берегу, составленная с использованием программного обеспечения Q GIS 3.36



В 2018 и

Рисунок 2 - Содержание хрома (мг/л) в морской воде на гидрологических станциях (МРС-ПДК)

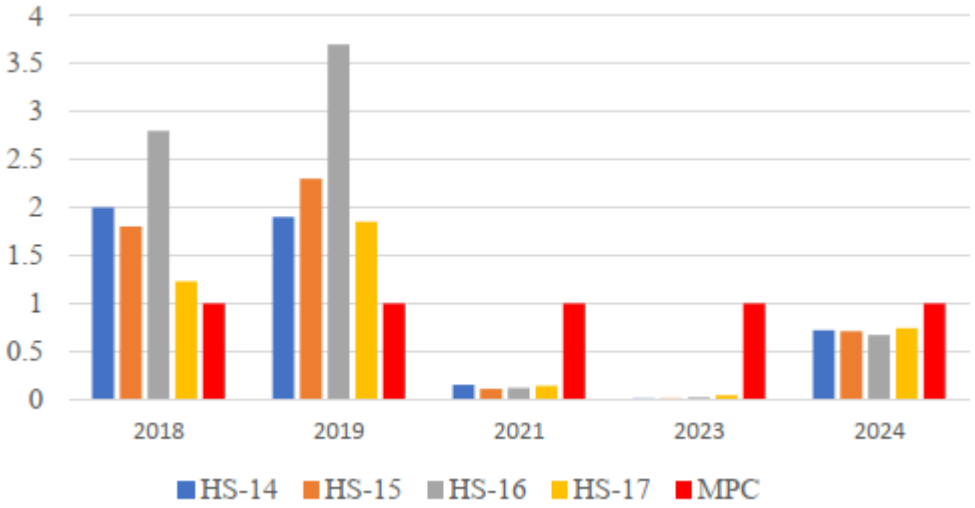


Рисунок 3 - Содержание меди (мг/л) в морской воде на гидрологических станциях (МРС-ПДК)

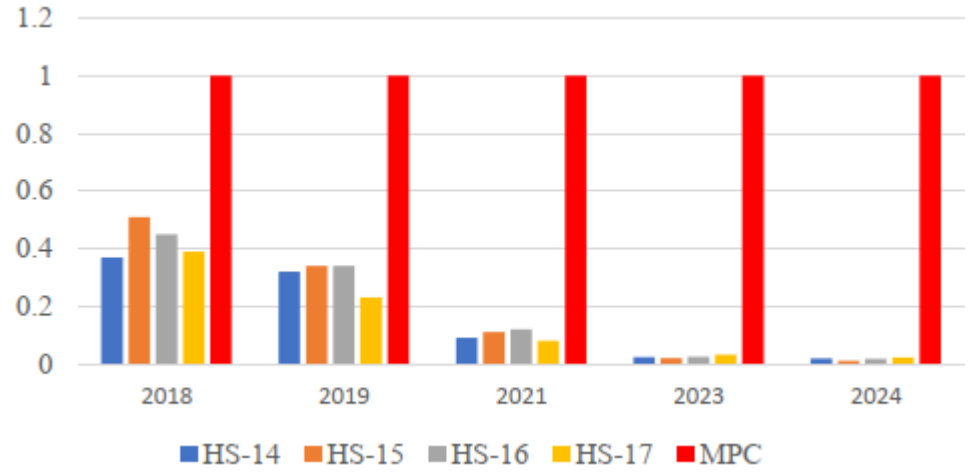


Рисунок 4 - Содержание никеля (мг/л) в морской воде на гидрологических станциях (МРС-ПДК)

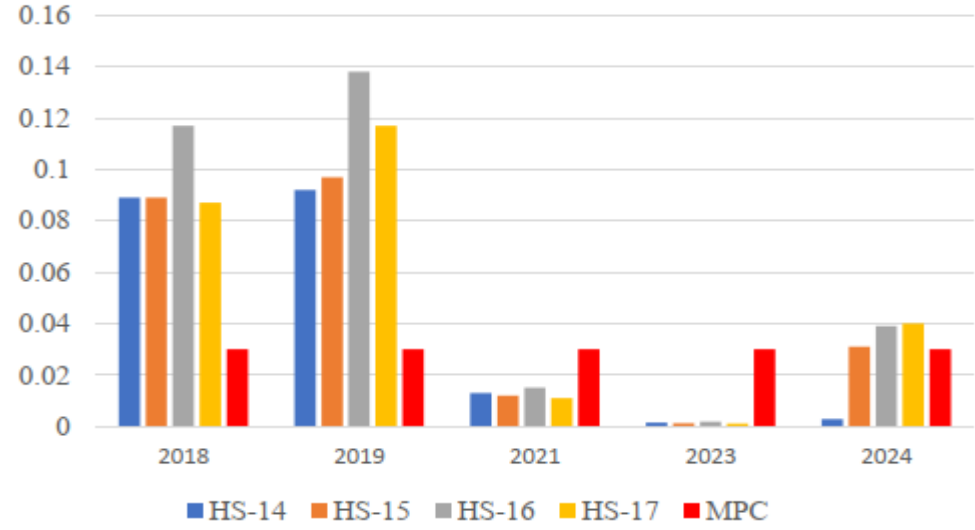


Рисунок 5 - Содержание свинца (мг/л) в морской воде на гидрологических станциях (МРС-ПДК)

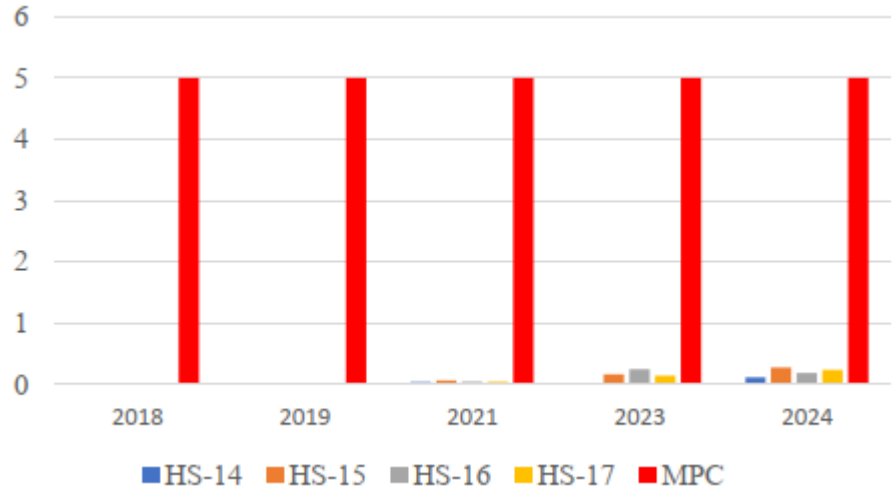


Рисунок 6 - Содержание цинка (мг/кг) в почвах на участках исследований

- Никель (Ni): постепенное снижение с 2018 по 2024 год, значения ниже ПДК (1 мг/л)
- Свинец (Pb): в 2018–2019 гг. превышал ПДК (0,03 мг/л) в 3–4 раза, к 2021 году резкое снижение; в 2024 г. отмечен рост на отдельных станциях выше ПДК
- Цинк (Zn): медленное увеличение с 2018 по 2024 год, но значительно ниже ПДК (5 мг/л).

Общая оценка

Комплексное исследование прибрежных вод казахстанской части Каспийского моря (2014–2019 гг.) на 22 станциях (Рисунок 7) выявило следующие медианные концентрации:

- Кадмий (Cd): 0,003 мг/л (Q1–Q3: 0,002–0,005 мг/л)
- Свинец (Pb): 0,004 мг/л (Q1–Q3: 0,0022–0,0094 мг/л)
- Хром VI (Cr(VI)): 0,0063 мг/л (Q1–Q3: 0,004–0,019 мг/л) [8].

По индексу качества воды CCME-WQI качество варьировало от «посредственное» до «удовлетворительное» с показателями 59,3–74,8 (Рисунок 8) [8].

Район дноуглубительных работ месторождения Кашаган

В период 2021-2022 годов [7] на участках активных дноуглубительных работ (Рисунок 9) концентрации большинства тяжелых металлов были ниже предела обнаружения.

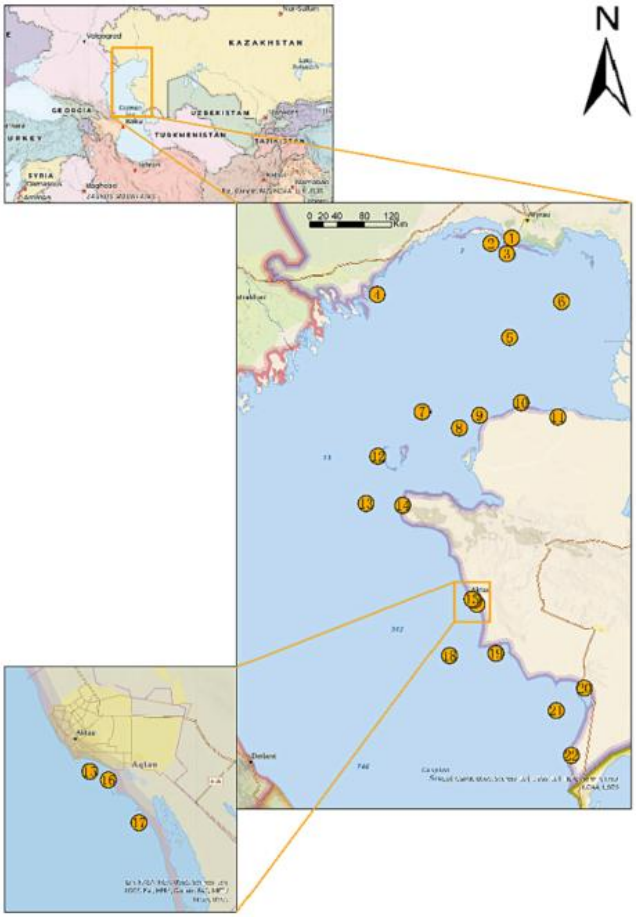


Рисунок 7 - Карта исследуемой территории

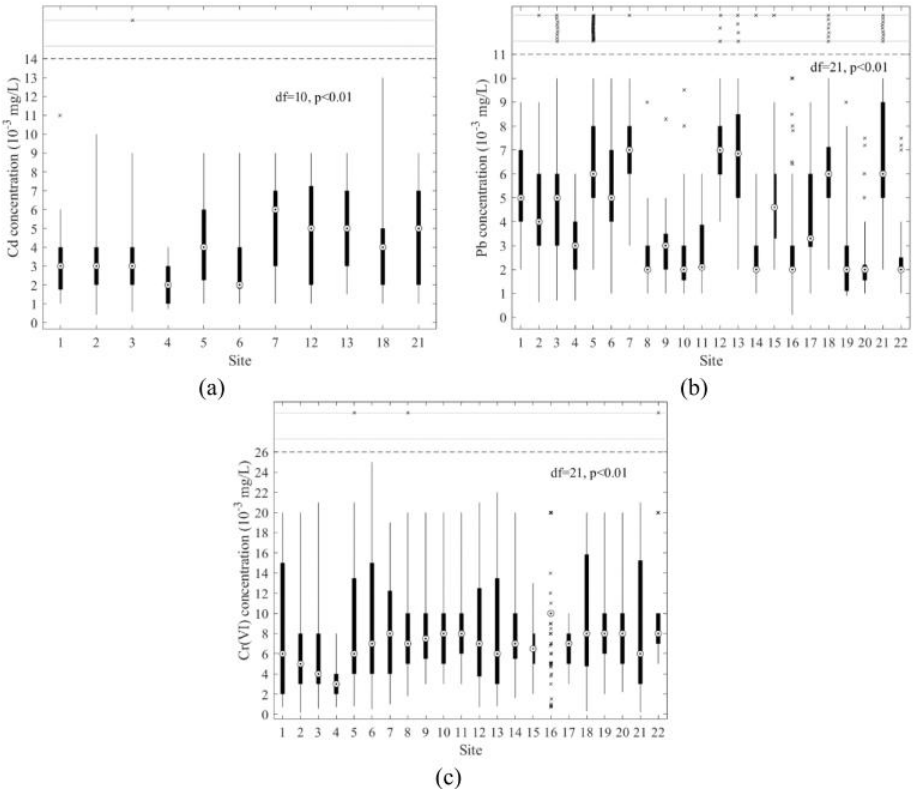


Рисунок 8 - Изменения концентраций (a) Cd, (b) Pb и (c) Cr (VI) по результатам теста Kruskal-Wallis в местах отбора проб

Рисунок 9 - Участок проведения дноуглубительных работ (голубая линия)

Средние, максимальные и минимальные значения концентраций тяжелых металлов в морской воде на исследованном участке в 2021–2022 гг. показаны в Таблице 2.

Практически все металлы имели концентрацию ниже предела обнаружения. Исключение составила медь, обнаруженная весной/летом 2022 года. Коцентрация меди колебалась в пределах от 0,0149 до 0,0186 мг/дм³ (выше ПДК 0,005 мг/дм³), однако авторы отмечают вероятное естественное происхождение.

2.2 **Органические загрязнители**

Полиароматические углеводороды (ПАУ)

Исследования 2017 года в районе (Таблица 3) островов Кулалы [1] выявили во всех пробах воды широкий спектр органических соединений с помощью нецелевого GC-MS скрининга:

- Алифатические углеводороды (источник - дизельное топливо);
- Ароматические углеводороды (свидетельство нефтедобычи);
- Промышленные органические загрязнители.

На основании результатов химического анализа на содержание органических соединений в пробах воды установлено, что все пробы загрязнены органическими соединениями. Результаты химического анализа на содержание органических соединений приведены в таблице 4.

Таблица 2 - Средние, максимальные и минимальные значения концентраций тяжелых металлов в морской воде на исследованном участке в 2021–2022 гг., мг/дм³

Сезон	Значение	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Ni	Pb	V	Zn	Al
Весна 2021	Мин.	–	–	–	–	0.0156	–	–	–	–	0.00137	–	–
	Макс.	–	–	–	–	0.0147	–	–	–	–	0.00135	–	–
	Среднее	<0.0003	<0.007	<0.00003	<0.0003	0.0151	<0.02	<0.00003	<0.0003	<0.0003	0.00136	<0.003	<0.007
Лето 2021	Мин.	–	–	–	–	0.0136	–	–	–	–	0.00191	–	–
	Макс.	–	–	–	–	0.0148	–	–	–	–	0.00259	–	–
	Среднее	<0.0003	<0.007	<0.00003	<0.0003	0.01484	<0.02	<0.00003	<0.0003	<0.0003	0.00224	<0.003	<0.007
Осень 2021	Мин.	–	–	–	–	0.0178	–	–	–	–	0.00198	–	–
	Макс.	–	–	–	–	0.0194	–	–	–	–	0.00247	–	–
	Среднее	<0.0003	<0.007	<0.00003	<0.0003	0.0185	<0.02	<0.00003	<0.0003	<0.0003	0.00225	<0.003	<0.007
Среднее 2021	Среднее	<0.0003	<0.007	<0.00003	<0.0003	0.0161	<0.02	<0.00003	<0.0003	<0.0003	0.00195	<0.003	<0.007
Весна 2022	Мин.	–	–	–	–	<0.0003	–	–	–	–	–	–	–
	Макс.	–	–	–	–	0.012	–	–	–	–	–	–	–
	Среднее	<0.001	<0.02	<0.0001	<0.001	0.0076	<0.1	<0.0001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.01	<0.02
Лето 2022	Мин.	–	–	–	–	0.0123	–	–	–	–	–	–	–
	Макс.	–	–	–	–	0.0185	–	–	–	–	–	–	–
	Среднее	<0.001	<0.02	<0.0001	<0.001	0.0155	<0.1	<0.0001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.01	<0.02
Осень 2022	Мин.	–	–	–	–	<0.0003	–	–	–	–	–	–	–
	Макс.	–	–	–	–	<0.005	–	–	–	–	–	–	–
	Среднее	<0.005	<0.025	<0.001	<0.005	0.0005	<0.1	<0.00001	<0.005	<0.002	<0.01	<0.1	<0.02
Среднее 2022	Среднее	<0.005	<0.025	<0.001	<0.005	0.0077	<0.1	<0.00001	<0.005	<0.002	<0.01	<0.1	<0.02

Таблица 3 - Координаты точек отбора проб воды

№	Широта (N)	Долгота (E)
1	45° 56′	51° 16′
2	45° 56′	51° 16′
3	45° 56′	51° 16′
4	45° 49.25′	51° 05.89′
5	45° 44.33′	50° 44.208′
6	45° 36′	50° 24′
7	45° 31.08′	50° 09.86′
8	45° 24.78′	49° 56.75′
9	45° 14.6′	49° 53.81′
10	44° 39.569′	50° 12.602′

Таблица 4 - Результаты химического анализа морской воды на содержание органических соединений

Место отбора проб	Количество загрязняющих веществ	Концентрация, нанограмм на литр (нг/л)
Проба воды 1 (район размножения тюленей)	19	19900
Проба воды 2 (размножение тюленей)	14	37821
Проба воды 3 (размножение тюленей)	31	510211
Проба воды 4 (размножение тюленей)	22	66226
Проба воды 5 (размножение тюленей)	7	9481
Проба воды 6 (район размножения тюленей)	18	58722
Проба воды 7 (район размножения тюленей)	23	92199
Проба воды 8 (район размножения тюленей)	20	66273
Проба воды 9 (район размножения тюленей)	13	30024
Проба воды 10 (район размножения тюленей)	17	68919

Обнаруженные соединения включали:

- 2,4-диметил-1-гептен
- транс-сальвен
- альфа-пинен
- гептан, 2,2,4,6,6-пентаметил
- ундекан, 4,6-диметил
- нонан, 2,6-диметил
- бензилацетат

– фенол, 2,5-бис (1,1-диметилэтиловый)
– диэтилфталат
– 1,2-бензендикарбоновая кислота, монобутиловый эфир
– 2-гексил-1-деканол
– 1,2-бензолендикарбоновая кислота, сложный эфир дипропила

Общие концентрации органических загрязнителей варьировали от 9 481 до 510 211 нг/л в зависимости от места отбора [1].

Бенз(а)пирен в прибрежной зоне

Исследования гидробионтов казахстанской зоны [2] показали, что содержание бенз(а)пирена (метаболит пирена, канцерогенное вещество) во всех организмах превышало ПДК (0,001 мкг/кг):

– *Eisenia fetida* (дождевой червь): 0,566±0,04 мкг/кг
– *Nereis diversicolor* (полихета): 0,381±0,04 мкг/кг
– *Dreissena polymorpha* (моллюск): 0,375±0,03 мкг/кг
– *Sander volgensis* (берш): 0,232±0,02 мкг/кг
– *Sander lucioperca* (судак): 0,049±0,003 мкг/кг
– *Abramis brama* (лещ): 0,026±0,002 мкг/кг
– *Unio pictorum* (моллюск): 0,013±0,002 мкг/кг

Полихлорированные бифенилы (ПХБ)

В нижнем течении реки Жайык в 2012 году [24] концентрации ПХБ в воде составляли 0,93–1,29 мкг/л (Рисунок 10), что близко к стандарту питьевой воды (1,0 мкг/л), но превышает нормы для рыбохозяйственных водоемов. В тканях рыб ПХБ обнаружены в 100% проб.

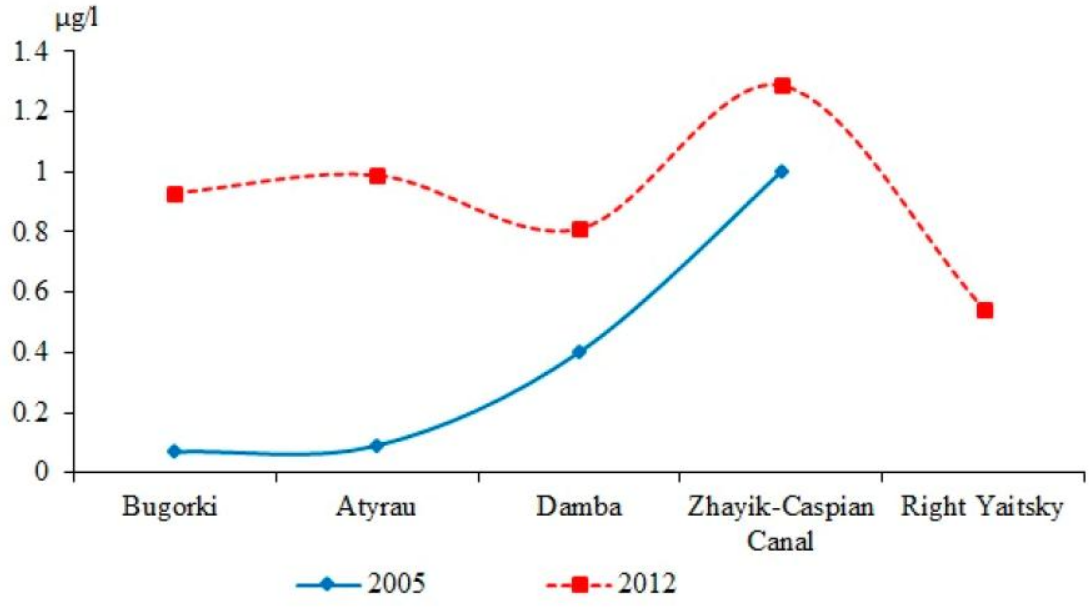


Рисунок 10 - Изменение концентраций ПХБ в воде р. Жайык

Норма содержания ПХБ в питьевой воде составляет 1,0 мкг/л. Такой же уровень их концентраций (0,93–1,29 мкг/л) зафиксирован в воде реки Жайык, но он не соответствует нормативам для водных объектов рыбохозяйственного назначения.

Результаты показывают, что 100% этого токсиканта присутствует в тканях всех рыб, взятых для анализа. Эти данные свидетельствуют о том, что водная экосистема реки загрязнена высокотоксичным соединением ПХБ. В мышцах представителя мирной рыбы — у бентофага *Abramis brama* уровень накопления ПХБ составлял до 316 мкг/кг, у судака и жереха — от 102 до 140 мкг/кг.

2.3 Нефтепродукты

Порты Актау, Курык и Ерсай

Комплексный мониторинг с использованием спутниковых данных (Sentinel-1 SAR, 2013-2022, более 3700 снимков) и наземных измерений [9] показал:

Спутниковый мониторинг:

- За 10 лет обнаружено 15 нефтяных пятен
- Длина разливов: от 3 до 89 км
- Площадь: от 0,5 до 38 км²
- Большинство связаны со сбросами с судов

Наземные измерения (июль и сентябрь 2023 г.):

- Актау: 0,014; 0,011 мг/дм³
- Курык: 0,028; 0,015; 0,1 мг/дм³
- Ерсай: 0,09 мг/дм³

Все значения ниже ПДК (0,1 мг/дм³), что свидетельствует о минимальном нефтяном загрязнении [9].

Чтобы иметь общее представление о разливах нефти, обнаруженных в 2013–2022 годах в районе портов Актау, Курык и Ерсай, было нанесено все разливы нефти на одну сводную карту (Рисунок 11).

1 Анализ изображений SAR Sentinel-1 за десять лет выявил только 15 разливов нефти в исследуемом регионе. Это очень небольшое количество разливов нефти по сравнению, например, с юго-восточной частью Балтийского моря или Средиземное море или Черное море, где движение судов намного интенсивнее. Степень нефтяного загрязнения в этом районе минимальна по сравнению с районом вокруг нефтяных скал в Азербайджане, где расположено огромное количество морских нефтяных вышек.

2 Статистических данных о наблюдениях за разливами нефти слишком мало, чтобы сделать выводы о сезонной и межгодовой изменчивости случаев разливов нефти. По крайней мере, мы не наблюдаем увеличения количества разливов нефти с течением времени.

3 Расположение и конфигурация разливов нефти показывают, что некоторые из них (номера 1-5, 12, 13 на рисунке 12) непосредственно связаны с деятельностью порта Актау, Курыка и Ерсая.

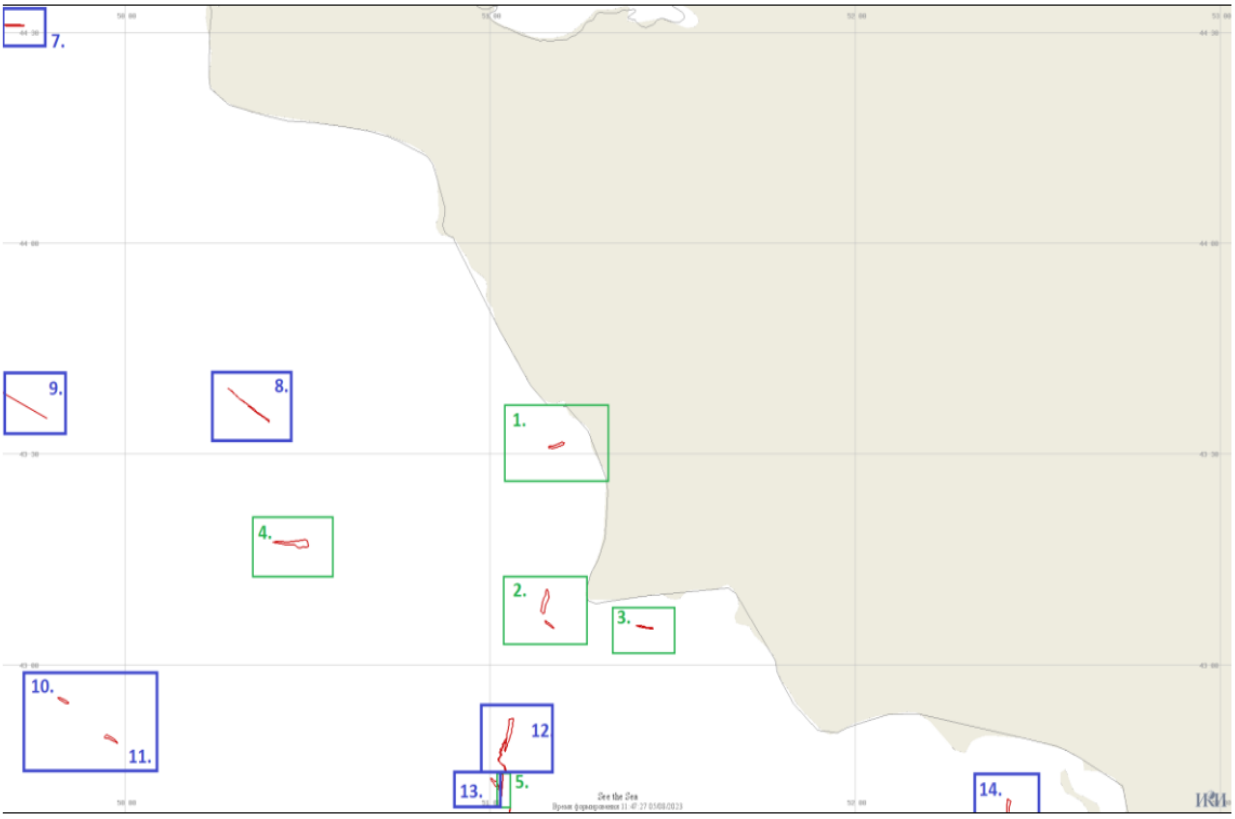


Рисунок 11 - Сводная карта разливов нефти, обнаруженных в районе портов Актау, Курык и Ерсай в 2013-2022 годах. Номера кадров соответствуют соответствующим изображениям SAR на рисунке 4: N1 – (a), N2 – (b), N3 – (c), N4 – (d), N5 – (e), N6 – (f), N7 – (g), N8 – (h), N9 – (i), N10 – (j), N11 – (k), N12 – (l), N13 – (m), N14 – (n)

Казахстанский сектор Каспийского моря (общая картина)

По данным мониторинга 2008–2010 годов [24], концентрация нефтяных углеводородов в воде превышала ПДК для рыбохозяйственных водоемов в 2–23 раза (0,8–1,05 мг/л) (Рисунок 12). Максимальные концентрации регистрировались в зонах впадения Волги и Урала, а также в районах нефтяных месторождений.

В казахстанском секторе Каспийского моря концентрация нефтяных углеводородов в водах Каспийского моря превысила допустимый для рыбохозяйственного использования уровень ПДК от 2 до 23 раз за год. 2008; как в 2009, так и в 2010 годах – в 16 и 21 раз (0,8–1,05 мг/л) соответственно. Максимальные концентрации этих загрязняющих веществ зафиксированы в морской воде, подверженной воздействию притока рек Волга и Урал, а также в районах активного залегания нефти. месторождения, такие как Тенгиз, Каламкас, Каражанбас и т.д.

В мышцах рыб концентрации нефтепродуктов составляли:

- 2008 г.: 2,4–216 мг/кг
- 2009 г.: 2,3–513 мг/кг
- Осетровые: 200–363 мг/кг
- Сельдь: 212–264 мг/кг

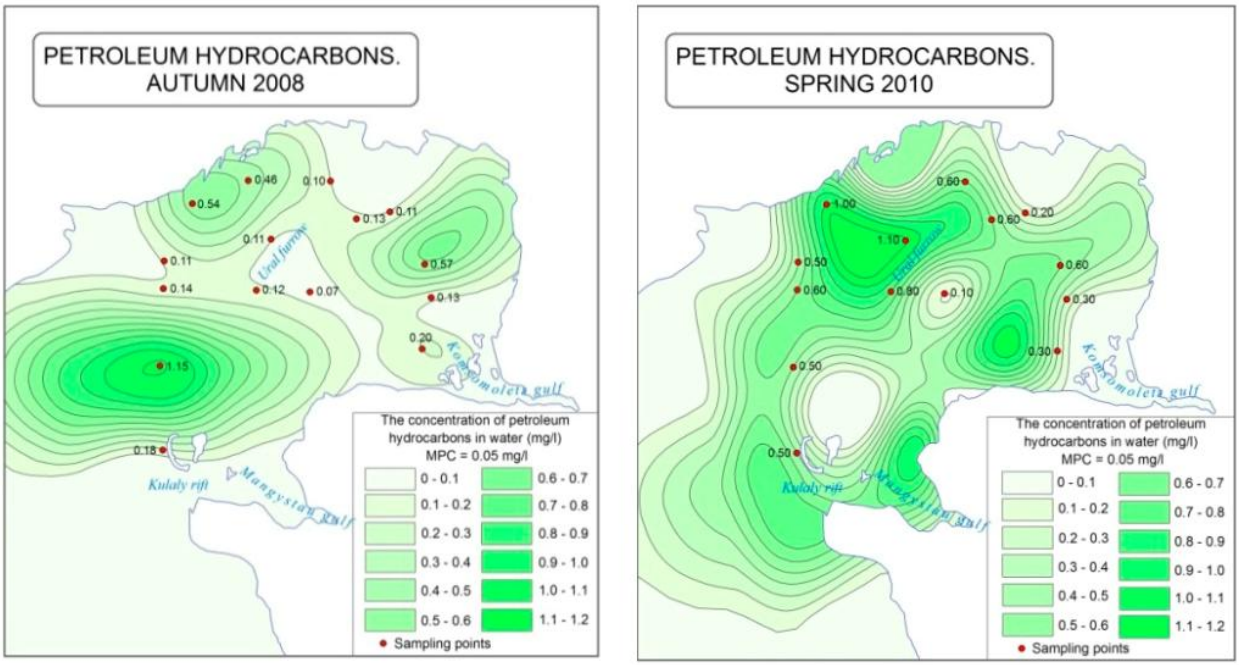


Рисунок 12 - Концентрация в воде и распределение нефтяных углеводородов в восточной части Северного Каспия.

Восточная часть (2018 год)

Исследования восточной части Каспия в 2018 году [4] выявили:

- Летом: превышение ПДК (0,05 мг/дм³) в 6 квадратах из 22, концентрации 0,06–0,07 мг/дм³
- Осенью: в 6 квадратах из 9, концентрации 0,05–0,06 мг/дм³

2.4 Биогенные элементы

Восточная часть Каспия (2018 год)

Комплексное исследование [4] показало отсутствие превышений ПДК по биогенным элементам:

Лето 2018:

- Аммоний (NH_4^+): 0,03–0,06 мг/дм³ (среднее 0,03)
- Нитрит (NO_2^-): 0,018–0,033 мг/дм³ (среднее 0,016)
- Нитрат (NO_3^-): 0,6–2,6 мг/дм³ (среднее 1,7)
- Общий азот: 0,5–0,8 мг/дм³
- Общий фосфор: <0,005 мг/дм³ (ниже предела обнаружения)

Осень 2018:

- Аммоний: 0,03–0,05 мг/дм³ (среднее 0,04)
- Нитрит: 0,016–0,026 мг/дм³ (среднее 0,021)
- Нитрат: 1,8–2,6 мг/дм³ (среднее 2,18)
- Общий азот: 0,5–0,7 мг/дм³
- Общий фосфор: <0,005 мг/дм³

Район Кашагана (2021–2022)

В период дноуглубительных работ [7] биогенные элементы были ниже порогов обнаружения во всех сезонах.

Физико-химические параметры

pH морской воды: 7,20–9,89 (в основном слабощелочная среда 7,9–8,1) [1, 7]

Растворенный кислород:

- 2021: 7,06–12,73 мг/дм³
- 2022: 6,5–11,73 мг/дм³ [7]

3 ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ

Прямых комплексных данных о составе и структуре донных отложений в Казахстанской части Каспийского моря в проанализированных источниках не представлено. Однако имеются косвенные данные:

Дноуглубительные работы в Северном Каспии (например, на месторождении «Кашаган») приводят к изменению количества взвешенных веществ в морской воде, что, в свою очередь, негативно влияет на гидрохимические параметры, ухудшая кислородный режим, оптические свойства воды и изменяя биотопы.

Накопление загрязнителей в гидробионтах является объективным индикатором канцерогенного риска. Во всех исследованных организмах прибрежной зоны обнаружен бенз(а)пирен (метаболит пирена), превышающий установленный ПДК. Наибольшей аккумулятивной способностью обладают железо (в среднем 151,258 мг/кг) и цинк (16,0 мг/кг) [2].

3.1 Нерестилища реки Урал

Исследование нерестовых участков в нижнем течении реки Урал (Казахстан) [14] показало значительную деградацию донных субстратов:

- Число нерестовых участков изменилось незначительно (63–70 за 1968–2016 гг.)
- Качество и площадь участков существенно снизились
- Предпочтительные гравийно-галечные нерестовые субстраты в 2016 году идентифицированы только на 4 участках
- Другие участки заилены, покрыты песком или растительностью

3.2 Загрязнение бентосных организмов

Анализ донных организмов [2] показал высокое накопление загрязнителей в бентосных видах, что косвенно свидетельствует о загрязнении донных отложений:

Тяжелые металлы в моллюсках (мг/кг):

- Железо: *Dreissena polymorpha* — 312,36; *Unio pictorum* — 192,62
- Свинец: различные виды — 1,875–4,419

– Цинк, кадмий, медь — значительные концентрации

Радионуклиды (Бк/кг):

– Ra^{226}: *Dreissena polymorpha* — 32, *Unio pictorum* — 31 (близко к ПДК 32 Бк/кг)
– Th^{232}: 43–45 (близко к ПДК 45 Бк/кг)

3.3 Деградация нерестилищ осетровых

Состояние нерестовых участков

Исследование 2016 года [14] в казахстанской части (нижнее течение, ~800 км):

– Количество участков: 68 (относительно стабильно с 1968 года — 63)
– Площадь и качество: значительное сокращение
– Предпочтительный субстрат (гравий-галька): только на 4 участках
– Большинство участков заилены, покрыты песком или растительностью.

4 РЕКА ЖАЙЫК (УРАЛ): СОСТОЯНИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

4.1 Гидрологическая характеристика

Река Жайык — вторая по значимости река бассейна Каспийского моря после Волги (Рисунок 13). Общая длина составляет 2428 км, из которых 1084 км протекают по территории Казахстана [14].

Рисунок 13 - Река Жайык (синяя) и прилегающий бассейн (желтая). Граница между Россией и Казахстаном обозначена толстой черной линией

Основные параметры:

– Среднегодовой сток (1961–2020): 8,1 км³

- Межгодовая изменчивость стока — одна из самых высоких среди крупных рек мира
- Скорость потока в нижнем течении: от 0,1 м/с (межень) до 13 м/с (паводок)
- Доля годового стока в период апрель-июнь: 60–90% (время нереста осетровых)

Продуктивность:

На Урал приходится около 45% воспроизводства осетровых Каспийского бассейна. Специфическая продуктивность (число особей на единицу объема воды) в 10 раз выше, чем у Волги [14]

4.2 Снижение водности

С 1971 года наблюдается систематическое снижение среднегодового стока реки Урал [24]:

- Исторический средний сток: ~12 км³/год
- К 2016 году: 7,47 км³/год (снижение на 37,8%)

Основные причины:

- Климатические изменения (повышение температуры, рост испарения)
- Антропогенные изъятия (регулирование стока, водозабор для промышленности и сельского хозяйства)
- Строительство водохранилищ в верховьях (территория России).

4.3 Загрязнение воды

Тяжелые металлы

По данным мониторинга [24], вода реки Урал на территории Казахстана содержит (превышение ПДК для рыбохозяйственных водоемов):

- Медь: до 18 мкг/л (18 ПДК)
- Цинк: 35 мкг/л (3,5 ПДК)
- Свинец: 40 мкг/л (4 ПДК)
- Кобальт: 40 мкг/л (4 ПДК)
- Никель: 80 мкг/л (8 ПДК)
- Хром: 60 мкг/л (3 ПДК)

Приток Илек (один из наиболее загрязненных):

- Хром VI: 181 мкг/л (9,2 ПДК)
- Медь: 46–47 мкг/л (46–47 ПДК)
- Свинец: 210–270 мкг/л (21–27 ПДК)

Категория загрязнения: «сильно загрязненная» и «чрезвычайно загрязненная» [24]

Органические загрязнители

- ПХБ в воде нижнего течения: 0,93–1,29 мкг/л (превышает нормы для рыбохозяйственных водоемов)

- ПХБ в мышцах рыб: 100% встречаемость, концентрации 102–316 мкг/кг [24]

Источники загрязнения:

- Горнодобывающая и металлургическая промышленность
- Нефтепереработка
- Промышленные и бытовые сточные воды
- Сельскохозяйственные стоки

4.4 Воздействие на экосистему Каспия

Загрязненные воды Урала поступают в Каспийское море, добавляя к уже значительной контаминационной нагрузке и дополнительно ухудшая среду обитания осетровых и других видов [14, 24]:

- Нарушения гонадного развития
- Опухолевые образования
- Атрофия мышц
- Аномальный морфогенез

5 ВЛИЯНИЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ МОРЯ НА ЭКОСИСТЕМУ И БИОРАЗНООБРАЗИЕ

5.1 Динамика уровня моря

Обзор последствий сценариев снижения уровня моря в регионе Каспийского моря

Предыдущие анализы климатического моделирования 20–22 прогнозировали снижение уровня воды в Каспийском море до 21 м против исходного значения -27,5 м к 2100 году, но существует неопределенность в отношении максимального снижения в зависимости от допущений о режиме климата и будущих темпов выбросов парниковых газов. Современные оптимальные модели прогнозируют снижение выбросов на 8–14 млн к 2100 году при сценариях со средними и высокими выбросами. Для оценки потенциальных последствий снижения CSL в соответствии с прогнозами, полученными в результате этих модельных исследований экосистем Каспия, существующих пространственных определений сохранения и инфраструктуры человека, были определены восемь сценариев снижения уровня моря с шагом в 2,5 м (снижение на -2,5 м, -5 м, -7,5 м, -10 м, -12,5 м, -15 м, -17,5 м и -18 м) относительно исходного значения -27,5 м и сгенерировали модели результирующей батиметрии Каспийского моря на этих уровнях воды. Затем был расчет изменения в относительном расположении береговых линий и охвате суши и акваторий для каждой проекции.

Снижение уровня воды на 2,5 м приводит к существенной потере водного покрытия по краям северного бассейна (Рисунок 14). После снижения на 5 м примерно 77 000 км^2 нынешней акватории (около 20% нынешней

поверхности Каспийского моря) превратятся в сушу, причем наиболее пострадавшими районами будут северный бассейн, Кара-Богаз-Гол и береговая линия Туркменистана. При самом экстремальном из рассмотренных сценариев снижения уровня воды на 18 м до 143 000 км^2 воды может перейти в пустыню; потеря 37% по сравнению с нынешним районом Каспийского моря. По данным комплексных исследований [17, 22] приходим к выводу что:

- 2002–2015 гг.: снижение ~6,07±0,26 см/год;
- С 2020 г.: ускорение до 30 см/год;
- 2001–2024 гг. (северо-восточная часть): сокращение водного покрова на 46% (с 15 194 км² до 8 183 км²)
- Отступление береговой линии: 56,17 км за период 2001–2024.

Прогнозы на 21 век

Климатические модели [17] предсказывают:

- При средних сценариях выбросов: снижение на 8–14 м к 2100 году
- При худшем сценарии: до -21 м
- Потеря водной поверхности: 20% (при -5 м) до 37% (при -18 м)

Причины снижения уровня

1. Снижение речного стока
   - Река Волга (80% притока): снижение стока из-за потепления климата [22]
   - Коэффициент стока Волги снизился с 0,352 (1938-1976) до 0,314 (2006-2020)
   - Температура в бассейне Волги растет со скоростью 0,5°С/10 лет (выше глобального среднего в 2,8 раза)

2. Увеличение испарения

   - Изменение ветрового режима над Каспием [19]
   - Скорость результирующего ветра увеличилась на 10,3%
   - Изменение направления ветра на 9,5° (усиление восточной компоненты)
   - В Северном Каспии (Казахстан): северный компонент ветра снизился на 71,6%, восточный увеличился на 49%, изменение угла ветра на 17,6°

3. Изменение климата

   - Прикаспийский регион Казахстана характеризуется наивысшими темпами роста температуры [5, 22].

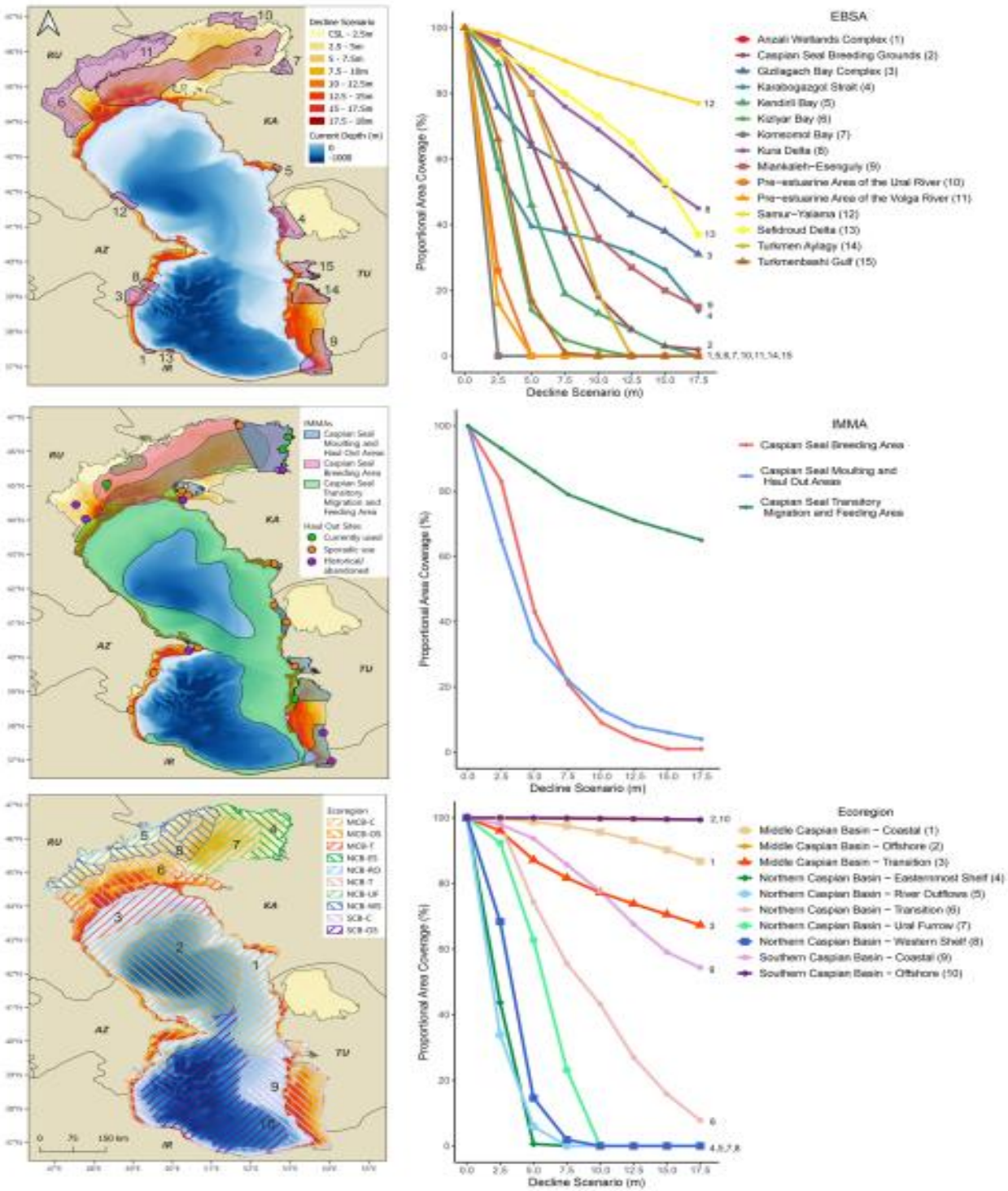


Рисунок 14 - Сокращение площади согласно различных сценариев снижения уровня моря для экологически важных районов Каспийского моря. Сокращение площади в результате различных сценариев снижения уровня моря для экологически или биологически значимых районов (EBSA; вверху); Важные районы обитания морских млекопитающих (IMMAs; в центре) и экорегионы Каспия (внизу). Левая колонка: карты сценариев упадка, на которые наложены полигоны, показывающие пространственные обозначения районов. Правая колонка: диаграммы, показывающие пропорциональное сокращение площади моря, охватываемой текущими обозначениями пространственных зон, при различных сценариях сокращения.

5.2 Воздействие на экосистемы

Деградация ключевых местообитаний

Снижение уровня моря на 5-10 м приведет к [17]:

- Потере ~77 000 км² водной поверхности (20% при -5 м)
- Сокращению экологически и биологически значимых морских районов (EBSA) на 50% и более для 7 из 15 территорий при -5 м
- Полному исчезновению 5 EBSA и 4 экорегионов при -10 м
- Сокращению охраняемых территорий с 16,8% до 7% (-5 м) и 1% (-10 м)

Северный Каспий (Казахстан)

Уже сейчас наблюдается следующее [17]:

- Комсомольский залив: большая часть пересохла к 2024 году, тюлени больше не могут использовать острова для линьки
- Места линьки переместились на новые острова западнее на 25-30 км
- Острова Дурнева: перестали быть лежбищами к 2020 году из-за обмеления

5.3 Влияние на биоразнообразие

Каспийский тюлень (*Pusa caspica*)

Критическое сокращение мест размножения и линьки [17, 20]:

- Исторически: 1,0–1,5 млн особей
- Современная численность: критически низкая
- Площадь ИММ (важных морских млекопитающих) с зимним морским льдом сократится на 57–81% при снижении уровня на 5 м
- Комсомольский залив EBSA (важное место линьки) — большая часть пересохла к 2024 г.

Воздействие ледокольных судов. Количественное исследование 2006-2013 гг. [20] показало:

- При прохождении судна <10 м: 98% матерей с щенками и 95% одиноких щенков перемещались
- Разделение матерей и щенков ≥20 м: 24,5% случаев при <10 м от судна
- 20 зарегистрированных столкновений (13 с одинокими щенками)
- Риск столкновений при скорости >4 узлов: увеличивается в 7,8 раз
- Риск столкновений ночью при прокладке новых каналов: увеличивается в 12,6 раз

Осетровые. Снижение уровня моря угрожает местообитаниям [17]:

– Летне-осенние ареалы: снижение на 25% при -5 м и на 45% при -10 м
– Деградация нерестилищ в устье Урала
– Критическое состояние всех 5 проходных видов

Планктон и рыбные ресурсы

Ожидаемые последствия [17]:

– Сокращение площадей мелководных шельфовых и переходных экосистем без замещения;
– Вытеснение местообитаний эндемичного бентоса;
– Усиление конкуренции с инвазивными видами (например, гребневик *Mnemiopsis leidyi*);
– Снижение продуктивности коммерчески важных видов.

6 ПЛАНКТОННЫЕ СООБЩЕСТВА

6.1 Фитопланктон

Восточная часть Среднего Каспия (весна 2016)

Исследование [13] проводилось в 2013–2016 годах в восточной части Среднего Каспия экспедицией Сафи Утебаева из Атырауского университета нефти и газа на глубинах до 400 м (Рисунок 15).

Отбор проб фитопланктона проводился с помощью 1,6-литрового пробоотборника Рутнера на шести станциях отбора проб (10–20, 20–50, 50–100, 100–200, 200–300, 300–400 м).

Рисунок 15 – Станции отбора проб

Была выявлена следующая структура сообщества.

Таксономический состав:

Было выявлено 50 видов из 4 групп

- Bacillariophyta (диатомовые): 24 вида
- Dinoflagellata (динофлагелляты): 13 видов
- Cyanophyta (цианобактерии): 7 видов
- Chlorophyta (зелёные водоросли): 6 видов

Доминирующие виды:

- *Rhizosolenia calcar-avis* (диатомовые)
- *Anabaena bergii* (цианобактерии)
- *Exuviaella cordata* (динофлагелляты)
- *Binuclearia lauterbornii* (зелёные)

Количественные показатели:

- Численность: $4{,}5\times10^{6}$ клеток/м³ (среднее)
- Биомасса: 80,7 мг/м³ (среднее)
- В слое 0–50 м: 98–109 мг/м³

Доминирование диатомовых: до 91% по биомассе

Распределение по глубине:

- Максимальная численность: 20–50 м
- Максимальная биомасса: 10–20 м
- Максимальное видовое богатство: 50–100 м

Разнообразие:

Индекс Шеннона-Вивера по численности: 1,60–1,78, по биомассе: 0,77–1,21 (низкое разнообразие).

6.2 Зоопланктон

Восточная часть Среднего Каспия (весна 2016) [13]

Таксономический состав:

Всего было выявлено 9 таксонов из 3 групп:

- Cladocera: 6 видов
- Copepoda: 1 вид (*Acartia tonsa*)
- Прочие: 2 таксона (Ostracoda, личинки Cirripedia)

Доминирующие виды:

- Acartia tonsa (Copepoda)
- Evadne anonyx typica (Cladocera)
- Личинки Cirripedia

Количественные показатели:

Численность: 18 103 инд./м³ (среднее)

Биомасса: 392 мг/м³ (среднее)

Структура сообщества:

По численности доминировали Copepoda — 56–97%, субдоминанты — Cladocera (до 40%).

По биомассе доминировали: *Acartia tonsa* — до 97% среди Copepoda, *Evadne anonyx* — до 20% среди Cladocera, Cirripedia — 13%

Распределение:

- Максимум на глубинах до 200 м: 20 866–29 625 экз./м³, 488–704 мг/м³
- На больших глубинах: снижение до 3165 экз./м³, 69 мг/м³

Разнообразие:

Индекс Шеннона-Вивера составлял 0,47 бит/инд. (по численности), 0,42 бит/мг (по биомассе), что отражает низкое разнообразие сообщества.

7 ОХРАНЯЕМЫЕ МОРСКИЕ ТЕРРИТОРИИ

7.1 Экологически и биологически значимые морские районы (EBSA)

В Каспийском море выделено всего 16 EBSA (Рисунок 16) общей площадью 82 662 км² (около 23% площади моря) [12], из них в казахстанской части расположено 5.

EBSA Казахстана:

1. Залив Кендерли

Площадь: 328,97 км²

Расположение: Средний Каспий, Мангистауская область

Значение: критическая зона весенней линьки каспийских тюленей (тысячи особей ежегодно после вскрытия льда)

Статус: входит в природный резерват местного значения «Адамтас», но тюлень не включен в список охраняемых видов

Угрозы: экономическая деятельность (сельское хозяйство, туризм, рыболовство) разрешена

2. Места размножения каспийского тюленя

Площадь: 30 892,08 км² (крупнейшая EBSA Казахстана)

Расположение: Северный Каспий (Казахстан/Россия, трансграничная)

Значение: основная область размножения каспийского тюленя, кормление и миграция белуги и других осетровых

Статус: частично охраняется, планируется создание государственного природного резервата.

3. Комсомольский залив

Площадь: 1 342,73 км²

Расположение: Северо-восточный Каспий, западнее залива Мёртвый Култук

Значение: исторически место линьки и размножения тюленей (острова Дурнева)

Современное состояние: острова обмелели к 2016 г., перестали быть лежбищами к 2020 г.; тюлени переместились на новые острова западнее на 25–30 км.

4. Приустьевой пространство реки Урал

Площадь: 3 208,29 км²

Расположение: Северный Каспий, устье реки Урал

Значение: основные нерестилища осетровых (980 га), более 250 видов птиц (>20 000 особей), включая уязвимые виды

Статус: пересекается с IBA (важная орнитологическая территория), биосферный резерват «Ак-Жайык».

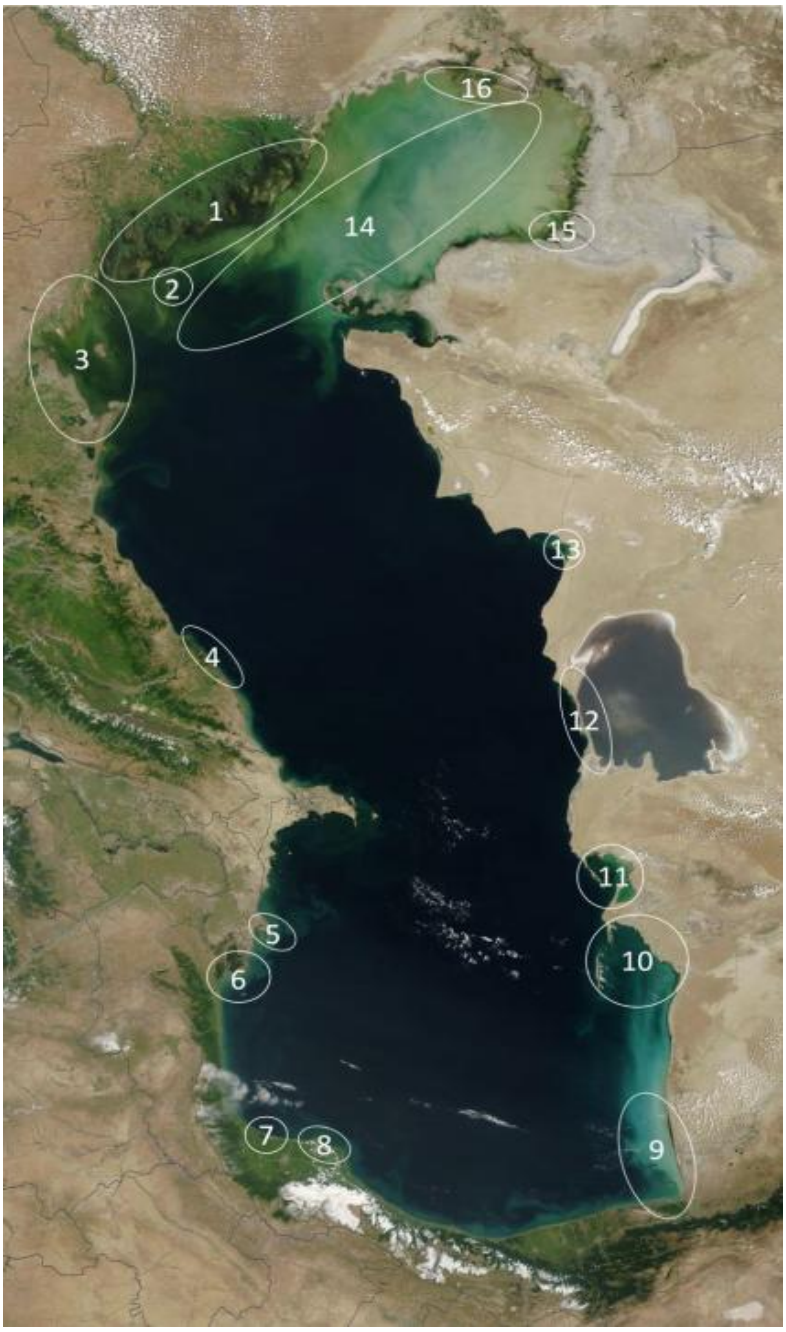


Рисунок 16 - Спутниковый вид Каспийского моря с указанием местоположения EBSA (номера районов соответствуют их номерам в таблице 1). Спутниковый снимок – Terra MODIS с корректировкой коэффициента отражения в реальном цвете, 15 июля 2024 года, пространственное разрешение 250 м (https://wvs.earthdata.nasa.gov).

5. Государственный природный резерват «Каспий итбалығы»

Территория: морские воды и побережье Мангистауской и Атырауской областей

Цель: охрана популяции каспийского тюленя, мониторинг состояния и редких видов

Общий охват EBSA Казахстана:
Суммарная площадь: 35 772 км²
Доля в северном Каспии: ~84% площади северной части моря

7.2 Угрозы охраняемым территориям при снижении уровня моря

При снижении на 5 м: сокращение охраняемых территорий до 7% площади моря (с текущих 16,8%)
При снижении на 10 м: сокращение до 1%
Многие EBSA полностью исчезнут или потеряют >50% площади [17]

8 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплексный анализ современных научных данных выявил серьёзные экологические проблемы в Казахстанской части Каспийского моря и бассейне реки Жайык (Урал):

8.1 Качество воды

1. Тяжелые металлы: В отдельных районах наблюдаются значительные превышения ПДК по ванадию (до 7,4 раз), бериллию (до 445 раз), сурьме (до 17,2 раз). Долгосрочный мониторинг показывает положительную тенденцию снижения концентраций в прибрежной зоне Актау к 2023-2024 гг.

2. Органические загрязнители: Обнаружены полиароматические углеводороды, ПХБ, бенз(а)пирен с превышениями ПДК. Особую озабоченность вызывает накопление канцерогенного бенз(а)пирена в гидробионтах.

3. Нефтепродукты: Спутниковый мониторинг портов показал минимальное загрязнение (15 разливов за 10 лет), однако исторические данные указывают на превышения ПДК в 2-23 раза в отдельные периоды. Современные наземные измерения показывают концентрации ниже ПДК.

4. Биогенные элементы: Концентрации в пределах нормы, не представляют угрозы эвтрофикации.

8.2 Река Жайык

1. Критическое снижение водности: Сток сократился на 37,8% за период 1971-2016 гг. из-за климатических изменений и антропогенных изъятий.

2. Высокое загрязнение: Превышение ПДК по тяжелым металлам (медь — 18×, никель — 8×), ПХБ, пестицидам. Притоки (особенно р. Илек) классифицируются как «сильно загрязненные».

3. Деградация нерестилищ осетровых: Сокращение площади и качества нерестовых участков, заиление, практически полное прекращение естественного воспроизводства осетровых с 2010 года.

4. Экосистемные последствия: Загрязнение приводит к патологиям гидробионтов (опухоли, атрофия мышц, нарушения развития гонад).

8.3 Снижение уровня Каспийского моря

1. Масштабы и темпы: С 2001 по 2024 год сокращение водного покрова на 46%, отступление береговой линии на 56 км в северо-восточной части. Ускорение темпов с 6 см/год (2002–2015) до 30 см/год (с 2020).

2. Прогнозы: к 2100 году ожидается снижение на 8–14 м при средних сценариях, потеря до 37% водной поверхности при худшем сценарии.

3. Причины: Снижение стока рек (особенно Волги), увеличение испарения из-за изменения ветрового режима и потепления климата.

4. Влияние на Казахстан: Северный Каспий (преимущественно казахстанский сектор) наиболее уязвим из-за мелководности. Изменения ветрового режима в этом регионе наиболее выражены (снижение северного компонента на 71,6%, рост восточного на 49%).

8.4 Биоразнообразие и экосистемы

1. Каспийский тюлень (*Pusa caspica*): Критическое состояние популяции. Потеря традиционных мест размножения и линьки (Комсомольский залив, острова Дурнева). Прогноз снижения площади мест размножения на 57–81% при падении уровня на 5 м. Дополнительные угрозы от ледокольных судов.

2. Осетровые: все 5 проходных видов находятся под критической угрозой. Естественное воспроизводство в реке Урал практически прекратилось. Искусственное воспроизводство (рыбоводные заводы) не компенсирует потери.

3. Охраняемые территории: 5 крупных EBSA в казахстанском секторе (35 772 км²) обеспечивают 84% охраны северного Каспия. При снижении уровня на 5–10 м площадь охраняемых территорий сократится на 94%.

4. Планктонные сообщества: Фитопланктон (50 видов, доминирование диатомовых) и зоопланктон (низкое разнообразие, доминирование *Acartia tonsa*) показывают относительно стабильную структуру, но уязвимы к изменениям солёности и температуры.

8.5 Необходимые меры

1. Усиление мониторинга: Регулярный комплексный мониторинг качества воды, состояния экосистем и биоразнообразия с использованием современных методов (спутниковый мониторинг, биоиндикация, молекулярные методы).

2. Снижение загрязнения: Модернизация очистных сооружений, ужесточение контроля промышленных выбросов, особенно в бассейне реки Урал.

3. Охрана биоразнообразия:

- Разработка мер по сохранению редких и коммерчески важных видов в условиях снижения уровня моря;
- Динамическая адаптация границ охраняемых территорий к изменяющемуся уровню моря

– Регулирование ледокольных операций в сезон размножения тюленей

4. Восстановление осетровых: Улучшение качества воды и состояния нерестилищ реки Урал, борьба с браконьерством, развитие искусственного воспроизводства с учетом генетического разнообразия.

5. Адаптация к изменению климата: Разработка стратегий адаптации к снижению уровня моря, планирование инфраструктуры с учётом прогнозов, международное сотрудничество прикаспийских государств.

6. Научные исследования: Продолжение долгосрочных исследований гидродинамики, гидрохимии, биологических сообществ. Развитие моделирования для прогнозирования изменений.

Экологическое состояние Казахстанской части Каспийского моря и реки Жайык требует незамедлительных комплексных мер на национальном и международном уровнях для предотвращения необратимой деградации уникальных экосистем региона.

9 РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ШИРИНЫ ОСУШЁННОЙ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ КАЗАХСТАНСКОГО СЕКТОРА СЕВЕРНОГО КАСПИЯ (ПО МАТЕРИАЛАМ АЭРОФОТОСЪЁМКИ С БПЛА)

Проведен анализ ширины осушённой прибрежной зоны и площади обмеления залива Кайдак. Определение средней ширины регрессивной береговой зоны Мангистауской области.

Территория: Казахстанский сектор Каспийского моря.

Методы: аэрофотосъёмка с БПЛА и камеральная обработка.

Цель: анализ полученных полевых и дистанционных данных для:

- определения параметров осушенной зоны побережья Казахстанского сектора Каспийского моря в пределах Мангистауской области.
- построения модели изменения береговой линии во времени;
- анализа состояния почв, рельефа и ландшафтно-геоморфологических процессов.

9.1 Используемые материалы и оборудование

Модель дрона: Dji Mavic 4 Pro , GPS-навигатор - Garmin Atrix 10. ,

Программное обеспечение: Arcgis, Google Earth.

Исходные данные: результаты маршрутных полевых исследований

9.2 Район и условия работ

Южное побережье Северного Каспий, залив Кайдак. Участок: разъезд №10.

Погодные условия:

- температура воздуха: 11.9 °C

- влажность: 45%
- ветер: ЮВ, 7м/сек
- давление: 1020,4 гПа
- видимость: 8 км.
- облачность: 7 баллов.

Гидрологические условия:

- уровень моря: минус 29,63 м БС.
- температуры воды: +10.5 °С
- солёность: 13,13 г/л.

Параметры полёта:
Высота полета: 93м,
Скорость: 21 км/час,
Дальность: 4296 м

Анализ регрессивной прибрежной зоны. Определения расстояние осушенного участка с 2006 г. по 2009 г. и площади по 2025 г. по данным спутникового снимка. Спутниковые снимки. Исходный данные: спутниковый снимки залива Кайдак за 2009 г., 2025 г. и изолиния -27.00 м. соответствующая уровня моря 2006 г. Измерения выполнялись с применением дрона DJI Mavic 4 Pro оснащенного GPS-навигацией. Для привязки к наземной системе координат были установлены реперные точки №1 и №2 и Кайдак 2016.

Наименование	**Координаты**	
	С.Ш.	**В.Д.**
2	3	4
Точка №1	44° 09′ 39″	52° 57′ 26′
Точка №2	44° 11′ 55″	52° 58′ 11″
Кайдак 2009	44° 24′ 31″	53° 12′ 50″

Система координат – WGS 84 Проекция UTM, зона 39N

По данным измерений, выполненных GPS-навигатором расстояние между точкой №1 и №2 составляет 4,3 км, от №1 точки до линии 2009 г. 33 км. Ширина осушенного участка составляет 33км.Береговая линия отступала в среднем 8км.в год. Береговая линия прибрежной зоны в районе г.Актау отступала 45м.год. Береговая линия районе Сарытас южного побережье Северного Каспий на 111 м год. В условиях понижения уровня Каспийского моря с1995-2025гг. обмеления восточной части КСКМ происходит на 7-7.6 метра интенсивнее в год чем Средний Каспий и более глубоководная часть Северного Каспий. В период 1995–2025 гг. площадь осушенного участка морского дна залива Кайдак S = 335 км².

9.3 Рельеф, почва и ландшафт

Современный инженерно-геоморфологическии условия Кайдак определяется сорам и бессточным впадинам. Почва представлен илами, илистыми глинами, песками, супесями с прослоями соли. Их мощность составляет 6–8 м. Почва имеют неустойчивую консистенцию, высокую засоленность и находятся в зоне сильного запыления. В районе залива Кайдак развиты вторичное засоление и дефляция.

10 ВЫЯВЛЕННЫЕ КРИТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

1. Ускоряющаяся регрессия моря: Темпы падения уровня (30 см/год) превышают адаптационные возможности экосистем мелководного Северного Каспия.
2. Токсическое загрязнение: Наличие экстремально высоких концентраций бериллия и стойких органических загрязнителей создает прямой канцерогенный риск для биоты.
3. Гидрологический коллапс реки Жайык: Критическое маловодье в сочетании с промышленным загрязнением делает невозможным восстановление популяции осетровых естественным путем.
4. Утрата местообитаний: Физическое исчезновение мелководных зон нагула и островов-лежбищ ставит под угрозу существование эндемичных видов.

11 НАУЧНАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РАБОТЫ

Представленный отчет имеет высокую научную и практическую значимость, так как содержит уникальные инструментальные данные о параметрах регрессии моря в период его интенсивного падения (2020–2025 гг.). Впервые детально задокументированы параметры осушенной зоны залива Кайдак с использованием БПЛА, что позволяет верифицировать спутниковые модели климатических изменений.

12 РЕКОМЕНДАЦИИ

На основании проведенного анализа предлагается:

1. Разработать и внедрить стратегию адаптивного управления границами особо охраняемых природных территорий (ООПТ) с учетом прогнозируемого отступления береговой линии.
2. Усилить контроль за сбросами промышленных стоков в бассейне реки Жайык, введя мораторий на новые водоемкие производства в регионе.
3. Организовать постоянный мониторинг концентраций бериллия и сурьмы в Северном Каспии для выявления источников экстремального загрязнения.

4. Пересмотреть программы искусственного воспроизводства осетровых с учетом изменившихся гидрологических условий и деградации нерестилищ.

13 ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ экологического состояния экосистемы Каспийского моря в Казахстанском секторе по состоянию на декабрь 2025 года свидетельствует о развитии экологического кризиса регионального масштаба. Сочетание климатического фактора (падение уровня моря, потепление) и антропогенного прессинга (загрязнение, зарегулирование стока рек) привело к необратимой трансформации ключевых биотопов.

Результаты научно-исследовательской работы НАО КазНИИКМ подтверждают необходимость принятия экстренных мер на межгосударственном уровне для сохранения биоразнообразия Северного Каспия. Прогнозы сокращения водного зеркала и утраты до 81% мест размножения тюленей требуют пересмотра существующих природоохранных стратегий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Tasmagambetova A.I., Tovassarov A.D., Bihan-Poudec A.-C., Bissariyeva S.S., Akberliyev A.B. Assessment of the Current State of the Caspian Sea and the Caspian Seal Habitat Analysis // Eurasian Chemico-Technological Journal. 2019. DOI: 10.18321/ectj827

2 Бигалиев А.Б., Кожахметова А.Н. Загрязнение нефтью и сопутствующими тяжелыми металлами, радионуклидами и накопление в организме гидробионтов Казахстанской зоны Каспия // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331. № 12. С. 60-66.

3 Janaliyeva N., Serikbayeva A., Syrlybekkyzy S., Suleimenova B., Baimukasheva Sh., Dzhumasheva K., Yessengazina L. Interannual Variability of Heavy Metal Pollution in the Aktau Region of Kazakhstan // Ecologica Montenegrina. 2024. Vol. 76. P. 187-200. DOI: 10.37828/em.2024.76.11

4 Сокольский А.Ф., Канбетов А.Ш., Попов Н.Н., Муташев Б.А., Рабазанов Н.И. Современное экологическое состояние вод Каспийского моря при освоении нефтегазовых месторождений // Юг России: экология, развитие. 2021. Т. 16. № 2. С. 98-107. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-98-107

5 Xenarios S., Orazgaliyev S., Torabi Haghighi A., Kløve B. A perspective on sustainability and environmental challenges in the Caspian Sea // International Journal of Water Resources Development. 2025. Vol. 41. No. 1. P. 1-8. DOI: 10.1080/07900627.2025.2441052

6 Wilson S.C., Baimukanov M., Baimukanov T., Ismagambetov B., Pazylbekov M., Jüssi M., Goodman S.J. Assessment of impacts and potential

mitigation for icebreaking vessels transiting pupping areas of an ice-breeding seal // Biological Conservation. 2017. Vol. 214. P. 213-222.

7 Kanbetov A.Sh., Kulbatyrov D.K., Tulegenova O.Sh., Gilazhov Y.G., Shakhmanova A.K., Abilgaziyeva A.A. Ecological condition of marine waters in the area of dredging operations of the kashagan field, Kazakhstan // South of Russia: ecology, development. 2024. Vol. 19. No. 1. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-18

8 Ramazanova E., Bahetnur Y., Yessenbayeva K., Lee S.H., Lee W. Spatiotemporal evaluation of water quality and risk assessment of heavy metals in the northern Caspian Sea bounded by Kazakhstan // Marine Pollution Bulletin. 2022. Vol. 181. 113879. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2022.113879

9 Kostianoy A.G., Knyazev N.A., Lavrova O.Yu., Koibakova S.E., Syrlybekkyzy S. Oil pollution near the ports of Aktau, Kuryk and Ersai (the Caspian Sea): Satellite and in-situ data // Ecologica Montenegrina. 2024. Vol. 76. P. 63-76. DOI: 10.37828/em.2024.76.4

10 Zhidebayeva A., Syrlybekkyzy S., Serikbayeva A., Taizhanova L., Abdibattayeva M., Amankeshuly D., Myrzabekova A., Baiseit A. Comprehensive Assessment of the Kaspiy Cement Plant and South Shetpe Chalk Deposit Impact on the Environment of the Western Part of the Mangystau Region (Kazakhstan) // Ecologica Montenegrina. 2025. Vol. 85. P. 119-129. DOI: 10.37828/em.2025.85.7

11 Zavialov P.O., Kostianoy A.G., Sapozhnikov P.V., Khan V.M., Kurbaniyazov N.K., Kurbaniyazov A.K. First Long-Term Measurements on Kazakhstan Shelf of the Caspian Sea Reveal Alternating Currents and Energetic Temperature Variability // Journal of Marine Science and Engineering. 2024. Vol. 12. 1957. DOI: 10.3390/jmse12111957

12 Ginzburg A.I., Kostianoy A.G., Gholamalifard M., Koibakova S.E., Syrlybekkyzy S. Ecologically and Biologically Significant Marine Protected Areas in the Caspian Sea: A Review // Ecologica Montenegrina. 2024. Vol. 76. P. 85-115. DOI: 10.37828/em.2024.76.6

13 Kurochkina T.F., Nasibulina B.M., Bakhshalizadeh Sh., Popov N., Kuanysheva G., Fazio F., Ali A.M. Plankton Community Structure and Biomass in the Eastern Middle Caspian Sea // Water. 2023. Vol. 15. 138. DOI: 10.3390/w15010138

14 Pueppke S.G., Nurtazin S.T., Murzashev T.K., Galymzhanov I.S., Graham N.A., Konysbayev T. Re-Establishing Naturally Reproducing Sturgeon Populations in the Caspian Basin: A Wicked Problem in the Ural River // Water. 2023. Vol. 15. 3399. DOI: 10.3390/w15193399

15 Холопцев А.В., Наурозбаева Ж.К. Оценка повторяемости атмосферных блокингов над Прикаспийским регионом в зимние месяцы 1959-2022 гг. и их влияния на ледовый режим Северного Каспия // Лёд и снег. 2024. № 1. С. 121-132.

16 Akbari M., Baubekova A., Roozbahani A., Gafurov A., Shiklomanov A., Rasouli K., Ivkina N., Kløve B., Haghighi A.T. Vulnerability of the Caspian Sea shoreline to changes in hydrology and climate // Environmental Research Letters. 2020. Vol. 15. 115002. DOI: 10.1088/1748-9326/abb404

17 Court R., Eybatov T., Lattuada M., Shumeyko N., Baimukanov M., Kaidarova A., Mamedov E.V., Rustamov E., Tasmagambetova A., Prange M., Wilke T., Hassall C., Goodman S.J. Rapid decline of Caspian Sea level threatens ecosystem integrity, biodiversity protection, and human infrastructure // Communications Earth & Environment. 2025. Vol. 6. 2. DOI: 10.1038/s43247-025-02212-5

18 Alexyuk M.S., Bukin Yu.S., Butina T.V., Alexyuk P.G., Berezin V.E., Bogoyavlenskiy A.P. Viromes of Coastal Waters of the North Caspian Sea: Initial Assessment of Diversity and Functional Potential // Diversity. 2023. Vol. 15. 813. DOI: 10.3390/d15070813

19 Safarov E., Bayramov E., Safarov S., Neafie J., Hedjazi A. Impact of changes in the wind regime on the Caspian sea level fluctuation and its relationship with SOI and NAO // Scientific Reports. 2025. Vol. 15. 1156. DOI: 10.1038/s41598-025-20346-6

20 Wilson S.C., Baimukanov M., Baimukanov T., Ismagambetov B., Pazylbekov M., Jüssi M., Goodman S.J. Assessment of impacts and potential mitigation for icebreaking vessels transiting pupping areas of an ice-breeding seal // Biological Conservation. 2017. Vol. 214. P. 213-222.

21 Broomandi P., Mohammadpour K., Abdullaev S.F., Maslov V.A., Fathian A., Nikfal A., Jahanbakhshi A., Aubakirova B., Kim J.R., Satyanaga A., Rashki A., Kaskaoutis D.G., Middleton N. A Synoptic- and Remote Sensing-based Analysis of a Severe Dust Storm Event over Central Asia // Aerosol and Air Quality Research. 2023. Vol. 23. 220309. DOI: 10.4209/aaqr.220309

22 Safarov E., Safarov S., Bayramov E. Changes in the Hydrological Regime of the Volga River and Their Influence on Caspian Sea Level Fluctuations // Water. 2024. Vol. 16. 1744. DOI: 10.3390/w16121744

23 Елтай А.Г., Ивкина Н.И. Моделирование уровня в Казахстанской части Каспийского моря с помощью модели MIKE 21 // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2024. Т. 79. № 2. С. 80-90.

24 Amirgaliev N.A., Askarova M., Opp C., Medeu A., Kulbekova R., Medeu A.R. Water Quality Problems Analysis and Assessment of the Ecological Security Level of the Transboundary Ural-Caspian Basin of the Republic of Kazakhstan // Applied Sciences. 2022. Vol. 12. 2059. DOI: 10.3390/app12042059

25 Iskakov B., Nurakynov S., Dabas J., Zhantayev Z., Balakay L., Dedova T., Yelisseyeva A., Sydyk N. Enhancing Environmental Sensitivity and Vulnerability Assessments for Oil Spill Responses in the Caspian Sea // Sustainability. 2024. Vol. 16. 9566. DOI: 10.3390/su16229566