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

ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В КАЗАХСТАНСКОМ СЕКТОРЕ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

(промежуточный, этап – ноябрь 2025 г.)

Актау, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

1 Анализ метеорологических характеристик в прибрежной зоне казахстанского сектора Каспийского моря 3

1.1 Материалы и методы 3

1.2 Результаты 4

1.3 Обсуждение 10

1.4 Заключение 11

2 Влияние колебаний уровня Каспийского моря на гидрологический режим дельты реки Жайык 11

2.1 Материалы и методы 12

2.2 Результаты 13

2.3 Обсуждение 17

2.4 Заключение 17

2.5 Список использолванных источников 18

3 Динамика береговой линии казахстанского сектора Каспийского моря 18

3.1 Материалы и методы 19

3.2 Результаты 19

3.3 Обсуждение 24

3.4 Заключение 25

3.5 Список использованных источников 26

4 Полевые исследования прибрежной зоны Северного Каспийского моря 27

4.1 Маршрут № 1 27

4.2 Маршрут № 2 31

4.3 Маршрут № 3 36

4.4 Маршрут № 4 40

1 Анализ метеорологических характеристик в прибрежной зоне казахстанского сектора Каспийского моря

Каспийское море — крупнейший бессточный водоём мира, и его северная часть частично принадлежит Казахстану. Климат прикаспийской прибрежной зоны Казахстана формируется под влиянием континентальных воздушных масс, при этом морская близость вносит свои коррективы.

Уровень и водный баланс моря напрямую зависят от сложного взаимодействия климатических факторов, включая температуру воздуха, осадки и влажность, а также от антропогенной деятельности. В последние десятилетия наблюдается заметная тенденция изменения метеорологических условий в прикаспийской зоне: ускоренное потепление, колебания осадков и усиление испарения. Эти процессы не только влияют на водный баланс моря, но и формируют долгосрочные тренды уровня воды, что отражается на экосистемах, побережьях и социально-экономических системах прибрежных стран.

Особое внимание в современных исследованиях уделяется анализу влияния климатических изменений на водные ресурсы Каспийского моря. Совокупное воздействие климатических факторов приводит к изменениям уровня моря, изменению скорости испарения и перераспределению солёности воды, что имеет прямое значение для гидрологии и экологии региона.

Таким образом, изучение динамики метеорологических характеристик прибрежной зоны Казахстанского сектора Каспийского моря является важной научной задачей, позволяющей выявлять причинно-следственные связи между изменением климата и состоянием водных ресурсов, а также формировать прогнозные модели для планирования адаптационных мероприятий в условиях глобального потепления.

1.1 Материалы и методы

Для проведения анализа метеорологических характеристик в прибрежной зоне казахстанского сектора Каспийского моря были использованы многолетние данные наблюдений, полученные с метеорологических станций, расположенных в ключевых пунктах Мангистауской области — Актау, Кулалы и Форт-Шевченко, а также со станции Пешной, находящейся на территории Атырауской области. Указанные станции обеспечивают репрезентативное покрытие исследуемой акватории и прилегающих территорий, что позволяет достоверно оценивать пространственно-временные особенности климатических и погодных условий региона.

В рамках исследования были использованы многолетние метеорологические данные, охватывающие следующие временные периоды наблюдений по ключевым станциям прибрежной зоны казахстанского сектора Каспийского моря:

1. Актау — 1960–2024 гг.
2. Кулалы — 1959–2024 гг.
3. Форт-Шевченко — 1966–2024 гг.
4. Пешной — 1991–2024 гг.

Указанные временные ряды обеспечивают достаточную протяжённость и полноту наблюдений для выявления тенденций, особенностей и климатических изменений в регионе,

а также позволяют провести сопоставительный анализ метеорологических условий различных участков побережья.

1.2 Результаты

В ходе исследования была построена многолетняя динамика изменений среднегодовой температуры воздуха (рисунок 1) и суммарного годового количества осадков (рисунок 2). Такой подход позволяет проследить долговременные тенденции климатических изменений в прибрежной зоне, выявить динамику изменения режимов, а также определить возможные колебания влажностного режима, оказывающие влияние на формирование гидрометеорологических условий региона.

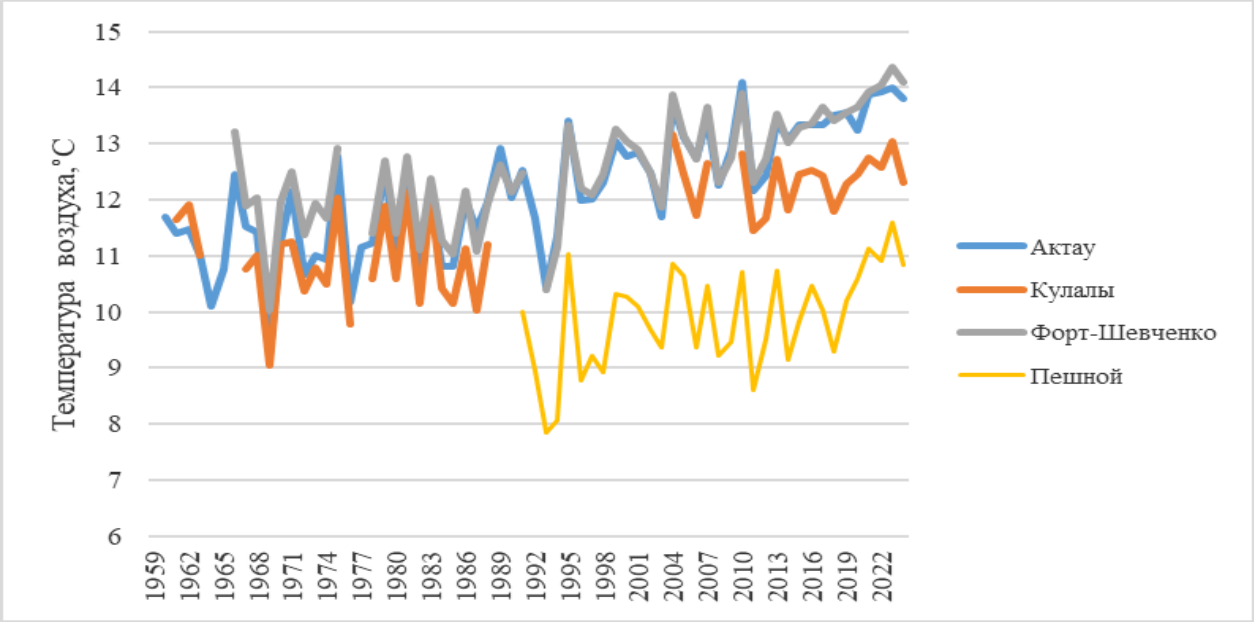

Рисунок 1. Динамика изменений среднегодовой температуры воздуха

Температурные характеристики прибрежной зоны Каспия очень вариабельны:

- Суточный диапазон температур может быть очень широким. По данным наблюдений, максимальные дневные температуры в летний период достигают плюс 42 °C.
- Зимой температура может опускаться до −25…−27 °C в зависимости от локации на побережье.
- Общий годовой диапазон температур (разница между максимальными и минимальными значениями) может составлять до 67–69 °C, что подчёркивает сильную континентальность климата.
- Влажность воздуха, в силу сухости континентальных масс, обычно невысока, особенно в тёплое время года, что усугубляется низким уровнем осадков и высокими температурами.

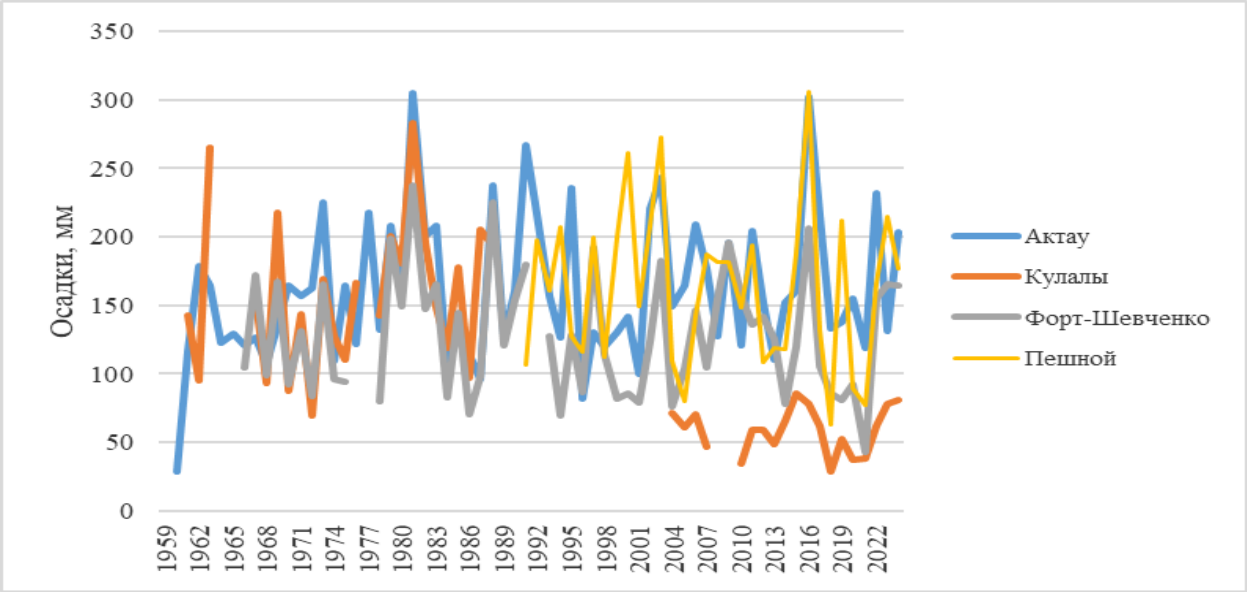

Рисунок 2. Суммарное годовое количества осадков за многолетний период

В прибрежной зоне Казахстанского сектора Каспийского моря годовое количество осадков сравнительно невелико. Например, в г.Актау среднее значение осадков за многолетний период (1960-2024) — 161 мм в год, в Кулалы (1959-2024) — 117 мм в год в районе Форта-Шевченко (1966-2024) — 128 мм в год, в Пешном (1991-2024) — 162 мм в год.

На исследуемой территории снежных осадков немного. Согласно исследованиям, твердые осадки (снег) составляют около 15–20 % от всех осадков. Таким образом, осадковый режим прикаспийской зоны можно охарактеризовать как сухой.

Для определения взаимосвязей метеорологических параметров с динамикой уровня Каспийского моря была сформирована и проанализирована многолетняя динамика колебаний уровня моря (рисунок 3), построенная на основе данных соответствующих наблюдательных постов. Это позволило выявить характерные тенденции, длительные циклы и возможные реакции уровня моря на изменения атмосферных условий.

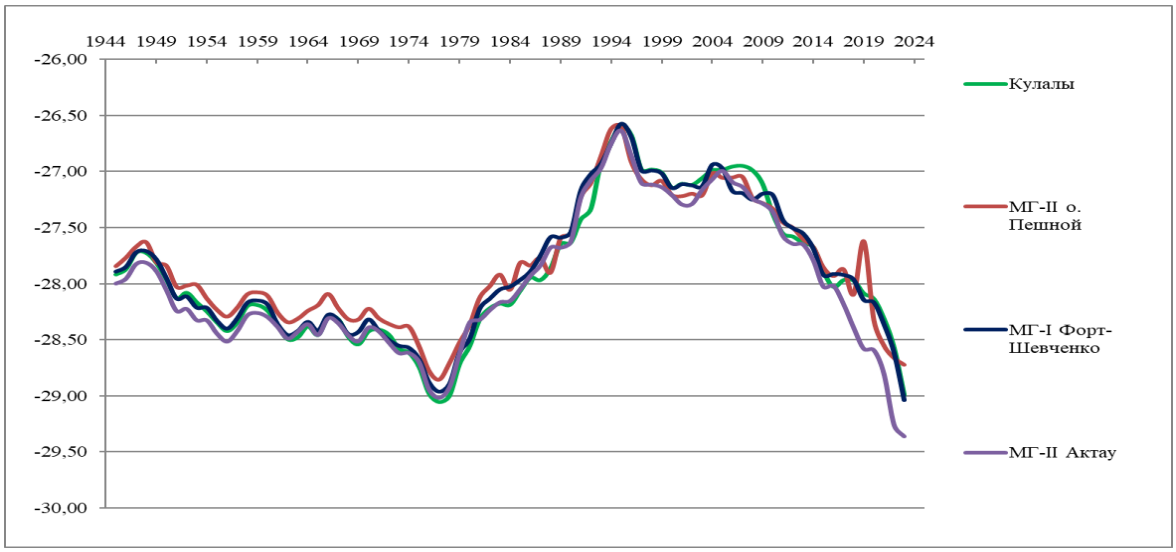

Рисунок 3. Динамика колебания уровня Каспийского моря за многолетний период

Анализ многолетней динамики колебаний уровня Каспийского моря за период с 1945 по 2023 годы позволяет выделить несколько характерных этапов. В частности, отмечается выраженная тенденция снижения уровня моря, продолжающаяся до 1977 года, далее наблюдается устойчивый подъём уровня в период 1978–1995 гг., после чего с 1996 года снова фиксируется длительный этап понижения. Выделенные фазы изменения уровня моря отражают цикличность гидрологических процессов и могут быть связаны как с региональными метеорологическими особенностями, так и с крупномасштабными климатическими колебаниями.

С учётом выявленных этапов колебаний уровня воды Каспийского моря, а также анализа многолетних метеорологических параметров, весь исследуемый период был условно разделён на три характерных интервала: до 1977 года, 1978–1995 гг. и период после 1996 года (таблица 1). Такое разделение позволяет сопоставить изменения метеорологических условий с фазами подъёма и спада уровня моря, а также более детально проследить возможные закономерности и взаимосвязи между атмосферными и гидрологическими процессами.

Таблица 1. Анализ многолетних метеорологических параметров

период	Актау			Кулалы			Форт-Шевченко			Пешной		
	Температура воздуха,°С	Осадки, мм	Влажность (мин)	Температура воздуха,°С	Осадки, мм	Влажность (мин)	Температура воздуха,°С	Осадки, мм	Влажность (мин)	Температура воздуха,°С	Осадки, мм	Влажность (мин)
до 1977	11,2	142,1	54,8	10,9	146,4	60,5	12,0	120,5	49,8			
1978-1995	11,7	177,1	50,8	10,9	173,4	61,8	11,8	140,1	53,7	9,2	159,8	
1996-2024	13,0	163,0	55,4	12,4	61,0	71,8	13,2	123,6	62,7	10,0	162,6	65,0

Во второй половине XX века климат в районе Актау ещё оставался относительно стабильным. Между первым и вторым периодом наблюдается рост температуры на 0,5 °С. Увеличение осадков во втором периоде (1978-1995 гг) на 35 мм по сравнению с 1960–1977 гг. В этот период относительное увеличение осадков составило примерно 25%. Также в данном периоде наблюдается снижение влажности на 4 процентных пункта (с 54,8 до 50,8 %). Это снижение примерно на 7% от значения первого периода. Совокупность отмеченных метеорологических изменений стала одной из причин увеличения уровня Каспийского моря, поскольку сочетание умеренного потепления, роста осадков и снижения влажности привело к изменению водного баланса в положительную сторону, с общим преобладанием притока воды над её потерями.

Между вторым и третьим периодом по данным станции Актау наблюдается резкий рост температуры воздуха на 1,3 °С. Основное ускорение потепления наблюдается после середины 1990-х годов — что совпадает с общеизвестной ускоренной фазой глобального потепления. В этот же период снижается количества осадков примерно на 8% по сравнению с 1978–1995 гг. Такая динамика может быть связана с изменениями атмосферной циркуляции, в том числе усилением межгодовой изменчивости в условиях общего потепления. Тем не менее, по сравнению с самым ранним периодом количества осадков увеличились с 142 мм до 163 мм, то есть наблюдается рост осадков примерно на 15%. Однако наблюдается рост влажности после 1996 года на 4,6 процентных пункта (с 50,8 до 55,4 %). Совокупность отмеченных метеорологических изменений стала одной из причин уменьшения уровня Каспийского моря,

поскольку сочетание интенсивного потепления, снижение объёмов осадков и повышение влажности негативно влияет на приходную часть водного баланса.

Комплексная оценка метеорологических показателей для районов Кулалы, Форт-Шевченко и Пешной за период 1960–2024 гг. показывает выраженную пространственно-временную неоднородность климатических изменений, непосредственно влияющих на водный баланс Каспийского моря. При этом климатические тренды в разных частях региона демонстрируют общую структурную закономерность: постепенное потепление, изменение режима осадков и усиление испаряемости, что соответствует фазам колебания уровня Каспия.

Для всех станций характерно длительное относительное температурное равновесие в 1960–1977 и 1978–1995 гг., а также резкое ускорение потепления после 1996 года

- Кулалы: стабильность в первые два периода (0,0 °C), затем скачок +1,5 °C.
- Форт-Шевченко: слабое снижение во втором периоде (–0,2 °C), затем рост +1,4 °C.
- Пешной: рост температураы +0,8 °C после 1996 года.

Таким образом, регион демонстрирует общую тенденцию ускоренного потепления в последние десятилетия, что способствует росту испаряемости и снижению водного баланса Каспия.

Осадки проявляют более сложную пространственную динамику, определяющую различия в увлажнённости территории.

Кулалы:

- Увеличение осадков в 1978–1995 гг. (+18%).
- Резкое уменьшение после 1996 г. (–65%). Значение 61 мм за многолетний период — аномально низкое, указывающее на резкое иссушение климата.

Форт-Шевченко:

- Рост осадков во втором периоде (+16%).
- Частичное снижение после 1996 года (–12%), но без экстремальных значений. Однако уровень осадков остаётся выше, чем в 1960–1977 гг.

Пешной:

- Не большое увеличение осадков (+1,7%).
- Отсутствие выраженной сухой фазы после 1996 г.

Таким образом, градиент усиления сухости выражен по оси север–юг:

максимальный — Кулалы, умеренный — Форт-Шевченко, минимальный — Пешной.

По выявленным трендам метеорологических показателей для большей наглядности и ясности были построены графики (рисунок 3), отражающие динамику их изменений.

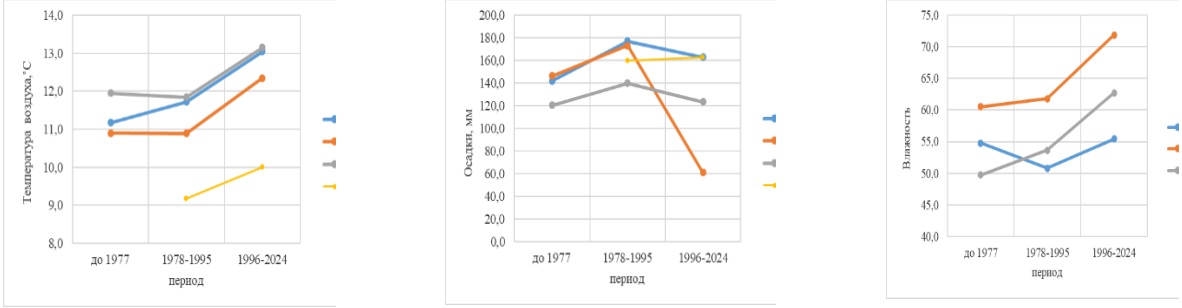

Рисунок 3. Тренды метеорологических показателей

Период 1960–1977 (до подъёма уровня моря). Характеризуется стабильными температурами, низкими осадками и относительно высокой влажностью. Региональный климат был близок к равновесному, не создавая значимых предпосылок для подъёма уровня моря.

Период 1978–1995 (фаза интенсивного подъёма уровня моря) Выделяется увеличением осадков по всему региону — один из факторов роста уровня Каспийского моря. Несмотря на отдельное снижение влажности, общее увлажнение бассейна возрастало, что повышало сток и уменьшало испарение. Этот период синхронно совпадает с исторически зафиксированным подъёмом уровня моря.

Период после 1996 года (фаза спада уровня моря). Отмечается:

- ускоренное потепление
- снижение осадков (особенно выраженное в северной части — Кулалы)
- рост испаряемости и уменьшение атмосферной влажности.

Эти изменения формируют отрицательный водный баланс, что согласуется с наблюдаемым падением уровня Каспийского моря.

Для более детального анализа и выявления изменений в трендах метеорологических показателей были изучены многолетние климатические нормы (рисунки 4 и 5). Анализ многолетних средних температур и осадков представлены в таблице 2.

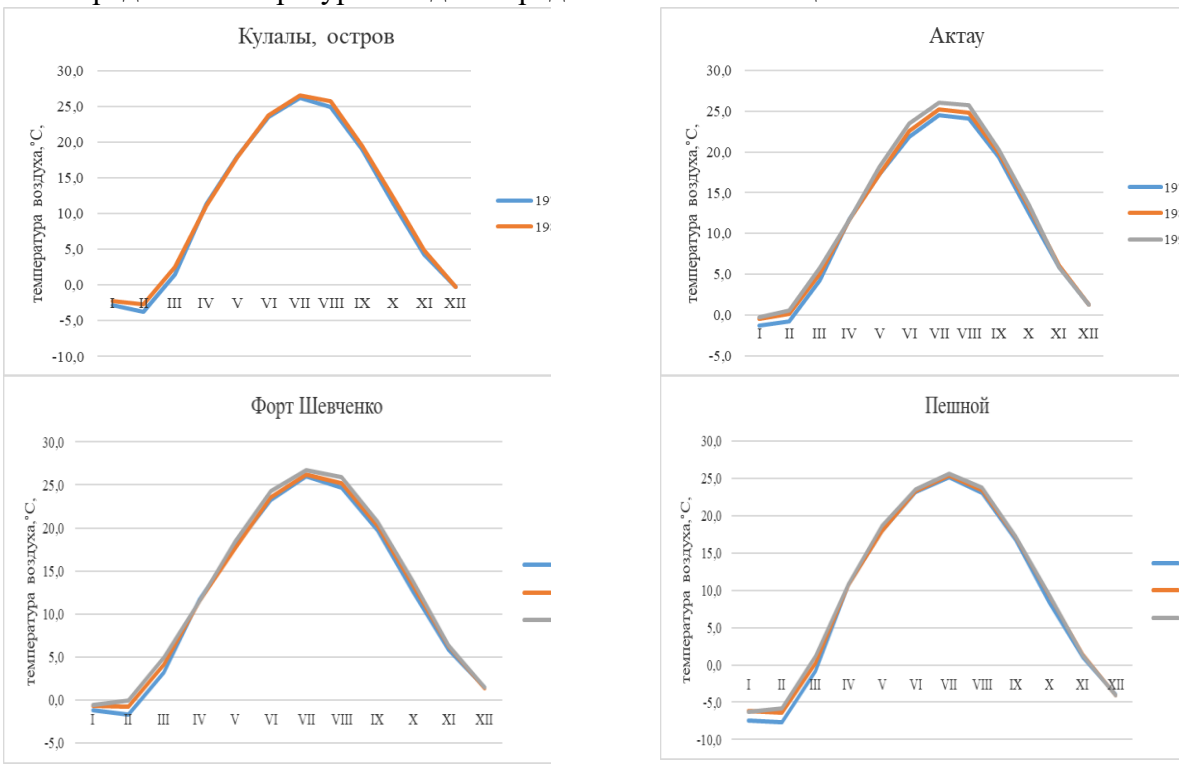

Рисунок 4. Многолетние климатические нормы температуры воздуха

Сравнение климатических норм за разные периоды (1971-2000, 1981-2010 и 1991-2020 гг) позволяет выявить направление и интенсивность изменяющихся трендов.

В Кулалы наблюдается повышение температуры на 0,4 °С. Температура демонстрирует устойчивый рост, отражающий общее потепление.

В Актау повышение достигает плюс 1,0 °С за весь период. Актау показывает один из наиболее выраженных трендов потепления, что может быть связано как с глобальным потеплением, так и с локальными факторами (урбанизация, влияние моря).

В Форт-Шевченко повышение температуры воздуха составляет плюс 0,9 °С. Рост температуры сопоставим с Актау, что характерно для прикаспийских районов.

Повышение температуры воздуха на плюс 0,7 °С наблюдается в Пешном. Темпы роста более умеренные по сравнению с прибрежными станциями.

Во всех пунктах наблюдения отмечается постепенное и устойчивое повышение среднегодовой температуры. Наиболее выраженное потепление — в прибрежной зоне (Актау, Форт-Шевченко), что может указывать на морское влияние и увеличение теплонакопления региона.

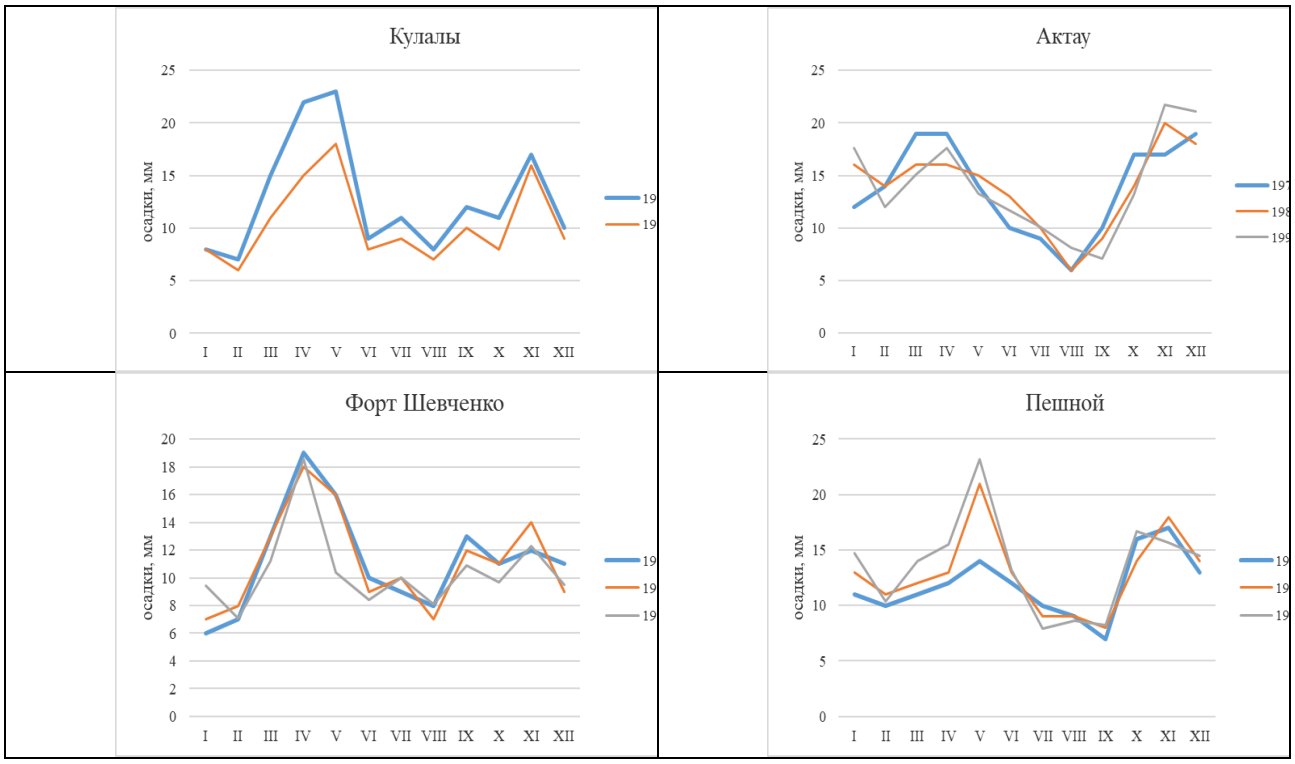

Рисунок 5. Многолетние климатические нормы осадков

Наблюдается уменьшение годового количества осадков на 28 мм, что указывает на более засушливые условия в Кулалы.

В Актау колебания среднегодовых значении осадков незначительны, общая тенденция — слабое увеличение в приделах 2-3 мм в разрезе нормы за многолетний период.

В Форт-Шевченко наблюдается снижение количества осадков на 9,5 мм. Постепенное уменьшение осадков говорит о тенденции к усилению аридности.

В отличие от других пунктов, Пешной демонстрирует увеличение количества годовых осадков на 20,6 мм.

Регион демонстрирует чётко выраженную тенденцию к повышению температуры, наблюдается повсеместное потепление от +0,4 до +1,0 °С что согласуется с глобальными климатическими трендами.

Таблица 2. Анализ многолетних климатических норм

пункты наблюдения	температура воздуха,°С			осадки,мм		
	1971-2000 гг	1981-2010 гг	1991-2020 гг	1971-2000 гг	1981-2010 гг	1991-2020 гг
Кулалы, остров	11,1	11,5		153,0	125,0	
Актау	11,7	12,2	12,7	166,0	167,0	168,7
Форт Шевченко	11,9	12,3	12,8	135,0	134,0	125,5
Пешной	8,9	9,4	9,6	142,0	155,0	162,6

Характер изменений осадков неоднороден: часть станций фиксирует снижение увлажнённости (Кулалы, Форт-Шевченко), часть — повышение (Пешной), что указывает на изменение локальных механизмов циркуляции и влагооборота.

В совокупности повышение температуры и снижение осадков для отдельных пунктов свидетельствуют о росте аридности климата, усилении засушливости и увеличении дефицита влаги.

Эти изменения могут оказывать влияние на водные ресурсы, экосистемы, сельское хозяйство и хозяйственную деятельность региона, требуя дальнейшего мониторинга и анализа.

1.3 Обсуждение

Динамика климатических параметров региона демонстрирует тесную и многоплановую связь с изменениями уровня Каспийского моря. На протяжении исследуемого периода проявляются два контрастных климатических режима, каждый из которых по-разному определял водный баланс бассейна. Увлажнение и умеренный тепловой фон конца XX века создали условия для усиления стока и ослабления испарения, что способствовало кратковременному подъёму уровня Каспия. Напротив, климатические тенденции последних десятилетий характеризуются устойчивым ростом температуры, сокращением осадков и выраженным усилением иссушения атмосферы, прежде всего в северных и северо-восточных районах. Этот переход к более аридному режиму стал ключевым драйвером отрицательного водного баланса.

Температурный тренд выступает наиболее сильным климатическим сигналом всей серии наблюдений. Рост температуры воздуха напрямую влияет на испаряемость, увеличивая потери влаги как с поверхности моря, так и с прилегающих территорий.

Осадки проявляют более сложную, колебательную динамику. Фазы увеличения и уменьшения влажности, по-видимому, связаны с изменениями циркуляционных процессов атмосферы, включая вариации траекторий циклонов и локальных ветровых режимов. Именно эта нестационарность атмосферной циркуляции формирует неоднородность распределения осадков по акватории и побережью, что особенно заметно в районе Кулалы, где выраженное иссушение приводит к экстремальным значениям дефицита влаги.

Пространственная неоднородность климатических трендов подчёркивает важность локальных факторов — рельефа, удалённости от береговой линии, характера подстилающей поверхности. В отдельных зонах сочетание высокой температуры, низкой влажности и интенсивной солнечной радиации формирует своеобразные микроклиматические условия, усиливающие испарение сверх регионального среднего.

Экологические и хозяйственные последствия этих климатических сдвигов многогранны. Продолжающееся снижение уровня Каспийского моря приводит к деградации

прибрежных экосистем, формированию новых засолённых территорий и трансформации естественных местообитаний. Отступление береговой линии меняет условия кормовых баз для водных организмов, оказывает давление на миграционные пути птиц. Для человека это также означает перестройку системы природопользования: деградацию прибрежных пастбищ, необходимость адаптации инфраструктуры, пересмотр водохозяйственных стратегий и повышение рисков, связанных с опустыниванием.

1.4 Заключение

Проведённый анализ климатических условий региона убедительно показывает, что состояния атмосферы и гидросферы формируют единую взаимосвязанную систему, в которой малые отклонения климатических параметров способны приводить к значительным изменениям уровня Каспийского моря. За время наблюдений проявилась устойчивая тенденция к повышению температуры и усложнилась структура межгодовой вариабельности осадков, что обусловило переход к более аридному режиму. Эти изменения отражают перестройку климатического фона, влияющую на испаряемость, влажностные условия и водный баланс моря.

Совокупность наблюдаемых климатических изменений в регионе показывает, что динамика температуры, осадков и испаряемости напрямую связана с колебаниями уровня Каспийского моря. Увлажнение и умеренный тепловой режим 1978–1995 гг. способствовали положительному водному балансу и подъёму уровня моря. В противоположность этому, период после 1996 года характеризуется ускоренным потеплением и снижением осадков (особенно в северных районах), что привело к усилению испарения и, как следствие, к формированию отрицательного водного баланса и снижению уровня Каспия. Пространственная неоднородность трендов подчёркивает важность локальных климатических условий, особенно в районах с экстремальным иссушением, таких как Кулалы.

Общий рост температуры воздуха за весь период наблюдений (1960–2024)— сильный климатический сигнал, способный существенно влиять на испаряемость, водный баланс и режим Каспийского моря. Влажность демонстрирует не монотонный, а колебательный характер: снижение, повышение. Это может отражать изменения циркуляционных процессов, частоты циклонов, режима ветров и локальных факторов испарения над Каспийским морем.

В целом результаты исследования свидетельствуют о том, что современная климатическая эволюция региона является ключевым фактором трансформации природной среды Каспийского побережья. Для устойчивого природопользования и адаптации хозяйственной деятельности требуется учитывать продолжающееся усиление аридности, прогнозируемое увеличение испарения и вероятное дальнейшее снижение уровня моря.

2 Влияние колебаний уровня Каспийского моря на гидрологический режим дельты реки Жайык

Дельтовые области крупных рек, впадающих в замкнутые или полузамкнутые водоёмы, отличаются высокой чувствительностью к изменениям уровня принимающей акватории. К таким системам относится дельта реки Жайык, расположенная в зоне влияния Северного Каспия. В отличие от рек, впадающих в открытые моря, гидрологический режим Жайыка в его нижнем течении определяется не только внутренними речными процессами, но

и колебаниями уровня Каспийского моря, которые имеют собственный ритм и значительные амплитуды.

За последние десятилетия уровень Каспия неоднократно демонстрировал тенденции к повышению и понижению, что неизбежно отражалось на состоянии прибрежных экосистем и русловой сети прилегающих рек. В таких условиях оценка водности и уровня воды в дельте Жайыка требует учёта не только притока из верхнего течения, но и возможного подпорного воздействия со стороны моря. Подпор приводит к тому, что уровень воды в реке в дельтовой части может увеличиваться даже при неизменном или сниженном речном стоке, что существенно усложняет интерпретацию наблюдений и расчёт гидрологических характеристик.

Проблема подпора актуальна не только для научных исследований, но и для практики водного хозяйства, поскольку повышение уровня в низовьях реки может провоцировать затопление низменных участков, изменять условия водообмена, влиять на скорость течения и формировать ложные представления о фактической водности Жайыка. При этом в существующих материалах зачастую не проводится чёткое разграничение между подъёмом уровня, вызванным внутренними речными процессами, и подъемом, обусловленным влиянием моря.

Учитывая современные тенденции изменения уровня Каспийского моря и растущую потребность в точных данных для управления водными ресурсами, исследование подпорного воздействия на дельту Жайыка приобретает особую значимость. Анализ этого влияния позволяет не только уточнить структуру гидрологического режима реки, но и повысить надёжность прогнозов, необходимых для защиты территорий, планирования хозяйственной деятельности и оценки экологического состояния прибрежной зоны.

2.1 Материалы и методы

Исследование влияния уровня Каспийского моря на гидрологический режим дельты реки Жайык выполнялось на основе анализа многолетних наблюдений за расходами и уровнями воды на ключевых гидрологических постах. В качестве исходных данных использовались ряды суточных и среднемесячных значений расходов и уровней воды на участках Махамбет и Атырау, а также уровней воды на устьевом посту Форт-Шевченко, отражающем изменения уровня Каспийского моря. Для обеспечения сопоставимости данные были приведены к единому временному ряду и очищены от очевидных выбросов и пропусков.

Для оценки взаимосвязей между участками реки применялись методы классического корреляционно-регрессионного анализа. На первом этапе выполнена оценка парных коэффициентов корреляции между расходами на постах Махамбет и Атырау, а также между уровнем Каспийского моря и уровнем воды в Атырау. Данный анализ позволил выявить основной вклад речного стока и определить степень влияния морского подпора на внутридельтовую гидродинамику.

На втором этапе была построена множественная регрессионная модель вида:

$$Q_{атырау}=f(Q_{махамбет},H_{форт\text{-}шевченко})$$

$$H_{атырау}=f(Q_{махамбет},H_{форт\text{-}шевченко})$$

позволяющая оценить комбинированное воздействие речного притока и морского уровня на формирование стока в дельте. Для анализа применялись стандартные статистические показатели: множественный коэффициент корреляции (R), коэффициент детерминации (R^2), стандартная ошибка модели и проверка значимости коэффициентов регрессии. Модель

строилась с использованием линейного подхода, поскольку он обеспечивает интерпретируемость и позволяет выявить первичные зависимости между переменными.

Пространственный анализ проводился на основе схемы русловой сети дельты, что позволило интерпретировать полученные статистические результаты в контексте реальных гидравлических процессов. Особое внимание уделялось идентификации механизмов обратного подпора — изменения наклона водной поверхности от устья к верхним участкам дельты при высоких уровнях Каспия.

Таким образом, сочетание статистических методов и гидрологической интерпретации данных обеспечило целостное понимание динамики водного режима дельты реки Жайык и выявление роли морского фактора в его формировании.

2.2 Результаты

Дельта реки Урал – уникальная природная система, формируемая в условиях низменного рельефа и специфических климатических особенностей.

Дельта реки Урал характеризуется высокой чувствительностью к внешним морским воздействиям, в особенности к сгонно-нагонным явлениям. Эти явления могут, как обогащать дельту пресной водой, так и вызывать обратные процессы, влияющие на её экологическое состояние. Эти процессы, обусловленные преимущественно ветровыми воздействиями над акваторией северного Каспия, вызывают значительные колебания уровня воды в дельтовой области, которые не связаны напрямую с изменением объёма речного стока.

Для изучения характера этого влияния была проведена обработка и анализ гидрологических данных, полученных с наблюдательных постов, расположенных в пределах дельты и на примыкающих участках побережья Каспийского моря. В этой связи для изучения динамики изменения уровня и расхода воды в реке Урал были выбраны речные посты пос.Махамбет и г.Атырау а также морской наблюдательный пост МГ-I Форт-Шевченко. Сбор данных по речным постам пос.Махамбет и г.Атырау а также морскому наблюдательному посту МГ-I Форт-Шевченко включает в себя гидрологические данные с 1936 года по 2023 годы. Не смотря на то, что данные посты функционирует большой промежуток времени, они имеют большую прерывистость рядов наблюдений. Общие гидрологические сведения по речным и морским постам занесены в таблицу 1.

Таблица 1 Основные гидрологические сведения

Река	**Пост**	**Период действия станции, год открытия**	**Площадь водосбора, км^2**	**Расстояние от устья, км**
р. Урал	пос. Махамбет	1932	230000	145
	г. Атырау	1915	236000	27
-	МГ-I Форт-Шевченко	1921		

За многолетний период наблюдений на постах имеются пропуски в рядах наблюдений, для того что бы заполнить пробелы в рядах данных проведено восстановление недостающих данных. Восстановление пропусков в наблюдениях и приведение данных к многолетнему периоду с 1936 по 2023 год осуществлено на основе уравнений связи. В качестве опорного пункта, как наиболее репрезентативными, были приняты посты аналоги. Для восстановления отсутствующих в рядах наблюдений данных за многолетний период для посту г.Атырау в виде

аналога был выбран пост пос.Махамбет, для поста МГ-I Форт-Шевченко аналогам выбран МГ-II Актау.

По данным уровней и расходов воды р.Урал-г.Атырау, р.Урал-пос.Махамбет и МГ-I Форт-Шевченко были построены графики связи среднегодовых расходов и уровней воды за многолетний период (рисунок 1).

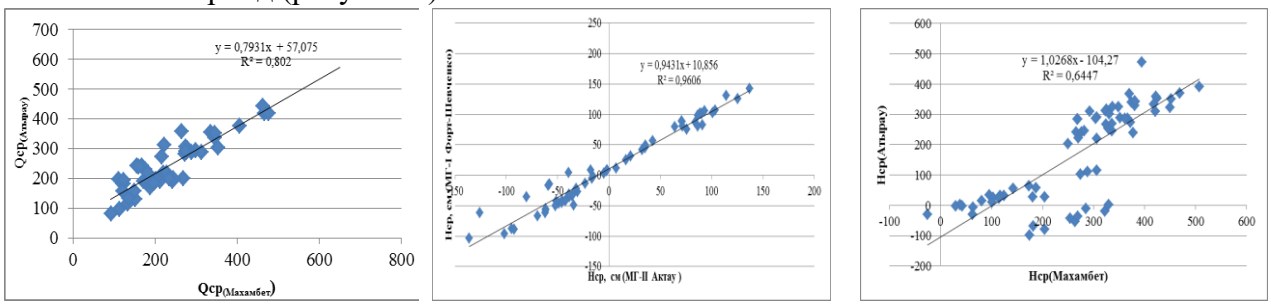

Рисунок 1. График связи среднегодовых расходов и уровней воды за многолетний период.

В процессе подготовки массива информации были восстановлены фрагментарно утраченные данные, после чего выполнена проверка их репрезентативности с использованием статистических методов. Результаты расчётов сведены в таблицу 2 и использованы для дальнейшего анализа.

Таблица 2. Статистические данные и уравнения связи годового стока

река-пост	**период наблюдения**	**Qср, м³/с, Нср см**	**σQ/н, %**	**Cv**	**σCv, %**	**Cs**	**уравнение связи**
Расходы воды							
р.Урал-пос. Махамбет	1936-2023	250	5,5	0,51	8,51	1,36	
р.Урал-г.Атырау	1936-2023	256	4,40	0,41	8,2	1,14	y = 0,7931x + 57,075
Уровни воды							
р.Урал-пос. Махамбет	1936-2023	260	5,40	0,48	8,8	-0,4	y = 0,6279x + 162,39
р.Урал-г.Атырау	1936-2023	162	10,69	0,95	11,0	-0,08	y = 1,0268x - 104,27

Для обеспечения надёжности последующего анализа предварительно была выполнена проверка репрезентативности восстановленных гидрологических данных. Данный этап был необходим вследствие наличия пропусков в ряде временных рядов, которые были восстановлены.

Результаты оценки показали, что восстановленные данные обладают высокой степенью репрезентативности. Для расчетов были использованы данные с продолжительностью наблюдений более 70 лет. Основные статистические характеристики восстановленных временных рядов соответствуют аналогичным показателям фактических наблюдений в пределах допустимых отклонений. Выявленные корреляционные связи (таблица 3) с данными сопредельных постов подтверждают достоверность полученной информации.

Таким образом, массив данных был признан пригодным для использования в дальнейшем анализе, направленном на изучение зависимости уровня воды в дельте от фонового уровня воды на реке Урал.

Таблица 3. Значения коэффициентов корреляции для восстановленных и контрольных рядов наблюдений

а) расходы воды

r	Махамбет	Атырау
Махамбет	1	
Атырау	0,96	1

б) уровни воды

r	МГ-I Форт-Шевченко	МГ-II Актау
МГ-I Форт-Шевченко	1	
МГ-II Актау	0,99	1

в) уровни воды

r	Махамбет	Атырау
Махамбет	1	
Атырау	0,83	1

Анализ множественной корреляции как метод оценки взаимосвязей в речной и приустьевой гидрологической системе

Для комплексного понимания взаимодействий между различными гидрологическими параметрами в пределах русловой и приустьевой частей реки Урал, целесообразно применять методы множественного корреляционного анализа. В отличие от парной корреляции, множественная корреляция позволяет оценить совокупное влияние сразу нескольких факторов (независимых переменных) на один целевой показатель (зависимую переменную). Это особенно актуально при анализе пространственно распределённых гидрологических данных, где на уровень или расход воды могут одновременно влиять как локальные, так и удалённые источники.

В рамках проведённого исследования был выполнен расчёт коэффициентов множественной корреляции между временными рядами:

- расходы и уровни воды в районе поселка Махамбет (р.Урал-пос. Махамбет расположенный в 145 км от устья)
- уровней воды в нижнем течении реки Урал (р.Урал-г.Атырау пост расположен в 27 км от устья)
- уровней у прибрежной зоны Каспийского моря (МГ-I Форт-Шевченко).

Анализ множественной корреляции был выполнен по двум типам модели (табл 4):

а) $Q_{атырау}=f(Q_{махамбет},H_{форт\text{-}шевченко})$

б) $H_{атырау}=f(Q_{махамбет},H_{форт\text{-}шевченко})$

Таблица 4. Результаты анализа множественной корреляции

Зависимая переменная (Y)	Предикторы (X_1, X_2)	Множественный R	R-квадрат	Нормированный R-квадрат	Стандартная ошибка	Среднее значение Y
Расход воды в Атырау (Q, м³/с)	$X_1 = Q_{Махамбет}$; $X_2 = H_{Форт\text{-}Шевченко}$	0,97	0,93	0,93	27,7 м³/с	256 м³/с
Уровень воды в Атырау (H, м БС	$X_1 = Q_{Махамбет}$; $X_2 = H_{Форт\text{-}Шевченко}$	0,79	0,63	0,62	0,37м	-27,26 мБС

По полученным данным множественной корреляции $Q_{атырау}=f(Q_{махамбет},H_{форт\text{-}шевченко})$ расход воды в пос.Махамбет расположенный в 145 км от устья реки Урал и уровни воды у Каспийского моря на посту Форт-Шевченко имеет очень высокую корреляцию между набором предикторов и фактическими расходами на посту г.Атырау расположенному в 27 км от устья (множественный R = 0,97). Фактически, предсказанные значения модели очень близки к реальным по линейной связи (R^2 = 0.93). Это означает, что 93 % вариации (изменчивости) расходов на Атырау может быть объяснено моделью, то есть предикторами x_1 и x_2. Остальные 7 % вариации — это либо шум, либо факторы, которые модель не включила (например, атмосферные осадки, ветровое воздействие и т.д.). В среднем модель ошибается на ±27,7 м³/с. Чтобы понять, является ли стандартная ошибка 27,7 большой или маленькой, необходимо сравнить её с масштабом значений расхода:

- Средний расход = 256 м³/с
- Ошибка ~ 27,7 м³/с

Относительная ошибка:

$$\frac{27,7}{256}.100\% = 10,8\%$$

То есть в среднем модель ошибается ±10,8 % от среднего значения.

Исходя из выше перечисленных можно сделать выводы о том что, наблюдается сильная связь между расходом выше по течению (Махамбет) и расходом на Атырау. Уровни воды у устья (Форт-Шевченко) также вносят дополнительную информацию, то есть:

- уровень воды в Каспии может влиять на гидравлическое сопротивление, возвратные волны, или “обратное подпирание” в реку, то есть, при высоком уровне в Каспии (в устье) часть притока может “назад подпирать” реку Урал, снижая отток, или наоборот.

Результаты множественной корреляции по функции $H_{атырау}=f(Q_{махамбет},H_{форт\text{-}шевченко})$ показывает значения множественный R = 0,79. То есть было установлено, что сам уровень воды в районе Атырау имеет хорошую связь, однако те же предикторы дают менее точный результат. Стандартная ошибка 0,37 м — это малая абсолютная погрешность (~1,36% от среднего уровня).

В целом, данные расчётов подтверждают существование устойчивых гидрологических связей между верхними, средними и нижними участками реки Урал. Расход на посту Атырау можно предсказывать с высокой точностью на основе расхода в Махамбет и уровня в устье, тогда как уровень воды в Атырау — более чувствительный параметр, требующий расширения модели. Оба анализа предоставляют важную научную основу для мониторинга, моделирования и управления водными ресурсами в бассейне Урала.

В ряде случаев значительные колебания уровня воды в дельтовой системе обусловлены преимущественно гидрологическими процессами, происходящими в Каспийском море. Таким образом, выявлено, что краткосрочные и сезонные изменения уровня воды в дельте не обязательно связаны с увеличением речного стока, а могут отражать воздействие морских процессов, и не иметь связь с фоновым уровнем.

Полученные результаты подчёркивают необходимость комплексного подхода и применения корректирующих коэффициентов к оценке гидрологического режима дельты Урала с учётом как речных, так и морских факторов. Это особенно актуально в условиях общей неустойчивости уровня Каспийского моря, а также при разработке мер по адаптации водохозяйственной и экологической инфраструктуры региона.

2.3 Обсуждение

Полученные результаты показывают, что гидрологические процессы в дельтовой части реки Жайык формируются под одновременным влиянием речного стока и уровня Каспийского моря. Анализ корреляционных связей подтвердил, что расход в верхнем створах (Махамбет) играет ключевую роль в формировании расходов на участке Атырау, что отражает преобладающий вклад речного притока. Однако добавление морского фактора — уровня воды в районе Форт-Шевченко — влияет на динамику, указывая на наличие подпорных эффектов.

Множественная корреляция для зависимости QАтырау = f(QМахамбет, НФорт-Шевченко) демонстрирует высокое значение множественного R (0,79), что подтверждает устойчивость гидравлической связи между участками реки и устьевой зоной. При этом относительно низкая объяснённая доля дисперсии для уровня воды в Атырау подчёркивает сложность и многокомпонентность процессов, влияющих на формирование уровня. В отличие от расхода, уровень реагирует на локальные условия русла, ветровые явления, неоднородные глубины, изменения гидравлического сопротивления и кратковременные подпорные волны, что объясняет меньшую точность моделей.

Особое значение имеет установление факта, что повышение уровня воды в дельте может происходить без увеличения речного стока. Такое явление связано с обратным подпором, возникающим при высоких уровнях Каспия. Подпорное воздействие изменяет градиент уровней вдоль нижнего течения, снижает скорость оттока и может создавать впечатление «водности», не соответствующей реальному объёму притока. Это приводит к существенным искажением в интерпретации гидрологических данных, если морской фактор не учитывается.

В совокупности эти результаты демонстрируют необходимость пересмотра традиционных подходов к оценке водности и уровня воды в дельте Жайыка. Доступные данные подтверждают, что сезонные и краткосрочные колебания уровня в дельтовой зоне не всегда являются следствием процессов в речном бассейне, а могут полностью определяться внешними морскими воздействиями. Это делает обязательным использование комплексных моделей, объединяющих речной и морской компоненты.

2.4 Заключение

Проведённое исследование показало, что динамика гидрологического режима дельты реки Жайык определяется сочетанием речных и морских процессов. Высокая корреляция между расходами в Махамбет и Атырау подтверждает стабильность речной связи между верхними и средними участками реки. Вместе с тем значимое влияние уровня Каспийского моря указывает, что морской подпор выступает важным фактором, изменяющим условия стока в нижнем течении.

Установлено, что повышение уровня воды в дельтовой части может происходить без увеличения стока — исключительно за счёт подпорного воздействия высоких уровней Каспийского моря. Это объясняет наличие ситуаций, когда наблюдаемые уровни в Атырау и в дельтовой системе не связаны с реальной водностью реки. Таким образом, классические расчёты, основанные только на речных параметрах, оказываются недостаточными для корректной оценки гидрологического режима.

Полученные результаты подчёркивают необходимость внедрения комплексных методов анализа, учитывающих динамику Каспия, а также разработки корректирующих коэффициентов для гидрологических моделей дельты Урала. Это особенно важно в условиях

нестабильного уровня моря, что представляет прямой интерес для водного хозяйства, экологического мониторинга и планирования адаптационных мероприятий в регионе.

2.5 Список использолванных источников

1. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши (ЕДС). Казгидромет. https://www.kazhydromet.kz/ru/gidrologiya/gosudarstvennyy-vodnyy-kadastr-poverhnostnye-vody
2. Базарбай, Л. Б., Елтай, А. Г., Жагпарова, Н. Н., Шишкина, Г. М. Влияние реки Жайык на уровень Каспийского моря. Гидрометеорология и экология, № 4, 2024, с. 7–14.
3. Ивкина, Н. И., Терехов, А. Г., Наурозбаева, Ж. К. Колебания уровня Каспийского моря и диагностика изменений береговой линии (2005–2015) с помощью спутниковых данных LANDSAT. Гидрометеорология и экология, 2015 (переиздание / переоценка).
4. Chen, J. L., Wilson, C. R., Tapley, B. D. Long‐term Caspian Sea level change. Geophysical Research Letters, 2017, Vol. 44.
5. Lahijani, H. A. K., et al. Tracking of sea level impact on Caspian Ramsar sites and coastal wetlands. Science of The Total Environment, 2023.
6. Mikhailov, V. N. Hydrological and morphological processes at river mouths of the Caspian Sea. Journal of Water Resources, 2014.
7. Kenzhegaliev, A., et al. Fluctuation in the Level of the Caspian Sea and its Consequences. E3S Web of Conferences, SUSE-2021, Article 01064, 2021.
8. Scarelli, F. M., et al. Natural and anthropogenic influences on depositional processes in the Ural Delta system. Marine Geology, 2017.
9. Bezrodnykh, Y., et al. The Northern Caspian Sea: Consequences of climate-driven water balance changes. Quaternary International, 2020.
10. Akbari, M., et al. Vulnerability of the Caspian Sea shoreline to changes in climate and river regimes. Environmental Research Letters, 2020.
11. Ивкина, Н. И., Елтай, А. Г., Клове, Б., Садуокасова, М. Т., Шенбергер, И. В., Шишкина, Г. М. Колебания уровня и их влияние на нефтяное загрязнение в казахстанском секторе Каспия. Гидрометеорология и экология, 2020.
12. Arystambekova, D., et al. Assessment of Changes in the Maximum Flow of the Zhayyk (Ural) River. Journal of Ecological Engineering, 2019.
13. Rychagov, G. I. (цит. в обзоре) Палеогеография и климат Каспийского моря. Вклад в историческую динамику уровня. (пересмотр в современной литературе)
14. Naderi Beni, A., et al. Caspian Sea level changes during the last millennium. Climate of the Past, 2013.

3 Динамика береговой линии казахстанского сектора Каспийского моря

В последние десятилетия береговая линия казахстанского сектора Каспийского моря претерпевает существенные пространственно-временные изменения под воздействием как природных, так и антропогенных факторов. Колебания уровня моря, изменение стока рек, интенсивное развитие прибрежной инфраструктуры и локальные процессы формируют сложную динамику, требующую системного изучения. В данной работе проводится комплексный анализ трансформации береговой зоны на основе данных дистанционных средств измерений, включая многовременные спутниковые изображения и результаты

геопространственной обработки. Использование методов автоматизированного картографирования и сравнительной интерпретации позволило выявить ключевые тенденции смещения береговой линии, определить участки с наиболее выраженными изменениями, а также оценить влияние природно-климатических и техногенных факторов. Представленные результаты формируют основу для дальнейшего мониторинга состояния прибрежной зоны и могут служить научно-практической базой для разработки стратегий рационального управления ресурсами и предотвращения рисков, связанных с деградацией береговых экосистем.

3.1 Материалы и методы

Для анализа динамики береговой линии казахстанского сектора Каспийского моря были использованы разнородные данные дистанционного зондирования, включающие как оптические, так и радиолокационные спутниковые наблюдения. В качестве основы для долгосрочного мониторинга применялись спутниковые изображения MODIS, характеризующиеся пространственным разрешением порядка 1 км и обеспечивающие стабильные многолетние временные ряды. Эти данные позволили выявить крупномасштабные тенденции изменения береговой зоны и оценить особенности сезонной и межгодовой вариабельности.

Дополнительно в исследовании были задействованы оптические данные серии Landsat, которые обеспечивают баланс между пространственной детализацией и длительностью архивных наблюдений. Эти данные использованы для анализа ретроспективных изменений и построения сопоставимых картографических рядов. Для повышения точности определения береговой линии в условиях повышенной мутности воды, динамических атмосферных помех и в зонах с плотной облачностью применялись радиолокационные данные Sentinel. Благодаря радиолокационным сенсорам обеспечена возможность получения информации независимо от освещённости и погодных условий.

3.2 Результаты

Береговая линия казахстанского сектора Каспийского моря за последние десятилетия характеризуется выраженной нестабильностью. Колебания уровня моря, изменение гидрологического режима питающих рек, усиление климатической аридизации и развитие хозяйственной деятельности в прибрежной зоне формируют комплекс факторов, влияющих на динамику морского побережья. Для объективной оценки этих процессов необходимы регулярные и пространственно охватывающие данные, которые могут быть получены посредством дистанционных средств измерений.

С начала 2000-х годов в казахстанском секторе Каспия наблюдается устойчивое сокращение площади водного зеркала. Этот процесс проявляется как в постепенном смещении береговой линии в сторону моря, так и в формировании обширных мелководных территорий, ранее находившихся под постоянным влиянием водной среды. Наиболее значительные изменения приходятся на период после 2015 года, когда темпы падения уровня моря усилились, что привело к ускоренной деградации прибрежных экосистем и заметному изменению структуры берегового рельефа (рисунок 1).

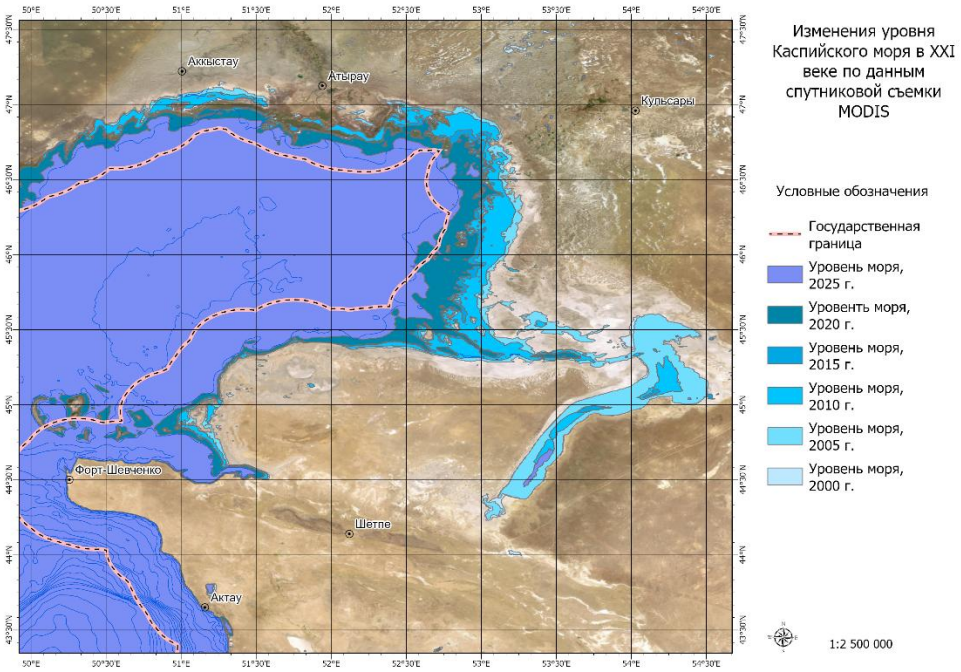

Рисунок 1. Мониторинг уровня моря по всей акватории казахстанского сектора (по данным MODIS)

Анализ данных, представленных на рисунке 1, свидетельствует о повсеместном увеличении площади осушенных территорий в казахстанском секторе Каспийского моря в период с 2000 по 2025 годы. Выраженная тенденция сокращения акватории прослеживается на протяжении всего рассматриваемого временного отрезка, однако наибольшие темпы обмеления фиксируются начиная с середины 2010-х годов. Особенно заметное ускорение регрессии береговой линии наблюдается в интервале с 2015 по 2025 годы, что указывает на усиление факторов, способствующих снижению уровня моря и трансформации прибрежных зон. Эти изменения отражаются в значительном расширении площадей вновь образованных сушевых участков и усилении контрастности береговой морфологии.

1. Период 2000–2005 гг. — начальная фаза ускорения осушки (1 449 кв км)

Начало XXI века характеризуется умеренными, но уже заметными процессами снижения уровня моря. Масштаб осушки в этом периоде может рассматриваться как ранний индикатор проявления изменений, связанных с перестройкой гидрологического режима Каспия. Вероятно, именно в этот период формируются предпосылки последующего ускорения деградации прибрежных зон.

2. Период 2005–2010 гг. — резкий скачок осушки (4 110 кв км)

Почти трёхкратное увеличение площади осушенных территорий по сравнению с предыдущим периодом свидетельствует о значительном изменении водного баланса. Такое увеличение указывает на:

- усиление испарительных процессов,
- уменьшение поступления воды в северную и восточную части моря,
- ускорение регрессии береговой линии.

Этот этап можно назвать первой крупной волной деградации казахстанского сектора.

3. Период 2010–2015 гг. — стабилизированное, но высокое значение осушки (4 321 кв км)

Темпы осушки остаются сопоставимо высокими с предыдущим периодом, что говорит о закреплении тенденции постоянного снижения уровня воды. Практически одинаковые значения отражают стабильную отрицательную фазу водного режима Каспия, когда море не успевает компенсировать потери за счёт притока.

4. Период 2015–2021 гг. — временное замедление осушки (2 010 кв км)

Уменьшение площади осушённых территорий почти в два раза относительно предыдущего периода может указывать на кратковременную стабилизацию или изменение климатических условий, частичное восстановление уровней, либо снижение темпов регрессии в северо-восточном секторе. Однако уменьшение темпа не означает прекращения процесса — осушка продолжается, но относительно замедленным темпом.

5. Период 2021–2025 гг. — новая волна ускорения (4 494 кв км)

Возвращение к высокому уровню осушки указывает на возобновление негативной динамики. Это значение является наибольшим среди всех анализируемых периодов, что говорит о достижении критического этапа деградации казахстанского сектора.

Суммарная потеря водной поверхности с 2000 года по 2025 годы составляет 16 384 кв км, что аналогично исчезновению огромной прибрежной акватории, сопоставимой по масштабу с крупным внутренним морем.

Данные 2021–2025 гг. демонстрируют усиление регрессии и выход процесса на новый максимум. Это указывает на тенденцию к дальнейшему снижению уровня моря в отсутствие стабилизирующих факторов.

Сравнение данных спутниковых платформ позволяет оценить пространственную неоднородность процессов осушения. В северной части казахстанского сектора зафиксировано наиболее интенсивное сокращение акватории, что связано с особенностями гидрологического баланса и морфологии дельтовых участков. Вместе с тем центральные и южные районы также демонстрируют выраженную регрессию, особенно в зонах с низкими отметками рельефа, где снижение уровня моря приводит к формированию протяжённых прибрежных отмелей.

Для более детального анализа ниже рассмотрим отдельные участки осушенных территорий казахстанского сектора Каспийского моря. Для регионального мониторинга береговой линии казахстанского сектора Каспийского моря применяются спутниковые данные высокого пространственного разрешения (10–60 м), что позволяет получать детализированную информацию о трансформации прибрежной зоны и отслеживать локальные морфодинамические процессы. На представленных рисунках 2-6 показана динамика водной поверхности на территориях районы Пешной, Прорва, Мертвый Култук, Новинский заказник и резерват «Акжайык». Водная поверхность определена на основе данных Landsat (1994 год) и Sentinel-2 (2025 год), что позволяет провести сравнительный анализ изменений за более чем 30 лет.

За период 1994–2025 гг. в районе Пешной фиксируется умеренное, но устойчивое отступление береговой линии на 3–5 км. Это свидетельствует о постоянном снижении уровня воды и деградации прибрежных экосистем.

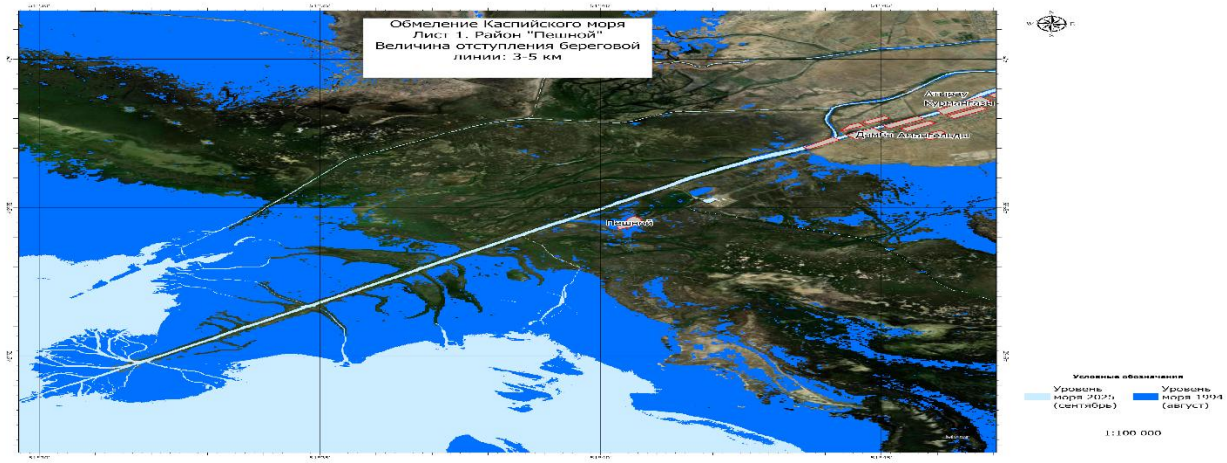

Рисунок 2. Мониторинг уровня моря на контрольных участках по спутниковым данным высокого разрешения (район Пешной)

Ключевые особенности изменений:

- Скорость отступления относительно умеренная по сравнению с другими районами западного побережья.
- Осушение проявляется преимущественно в виде расширения мелководных зон и образования широких полос пустынных земель.
- Вероятны изменения структуры грунтов, усиление солонцеватости и снижение биопродуктивности.

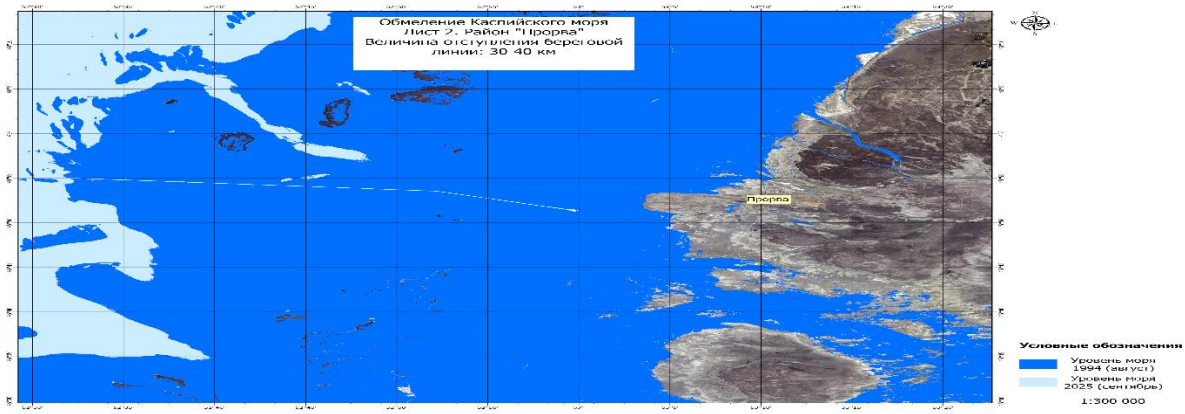

Рисунок 3. Мониторинг уровня моря на контрольных участках по спутниковым данным высокого разрешения (район Прорва)

Район Прорвы демонстрирует одно из самых критических значений осушения — 30–40 км, что указывает на масштабнейшее сокращение акватории восточной части Каспийского моря.

Ключевые особенности изменений:

- Водоотступление носит катастрофический характер.
- На месте бывшего дна появляются огромные сухие территории, подверженные ветровой эрозии.
- Увеличивается площадь солончаков и пустынных ландшафтов.
- Вероятно выпадение или исчезновение ряда водно-болотных биотопов.

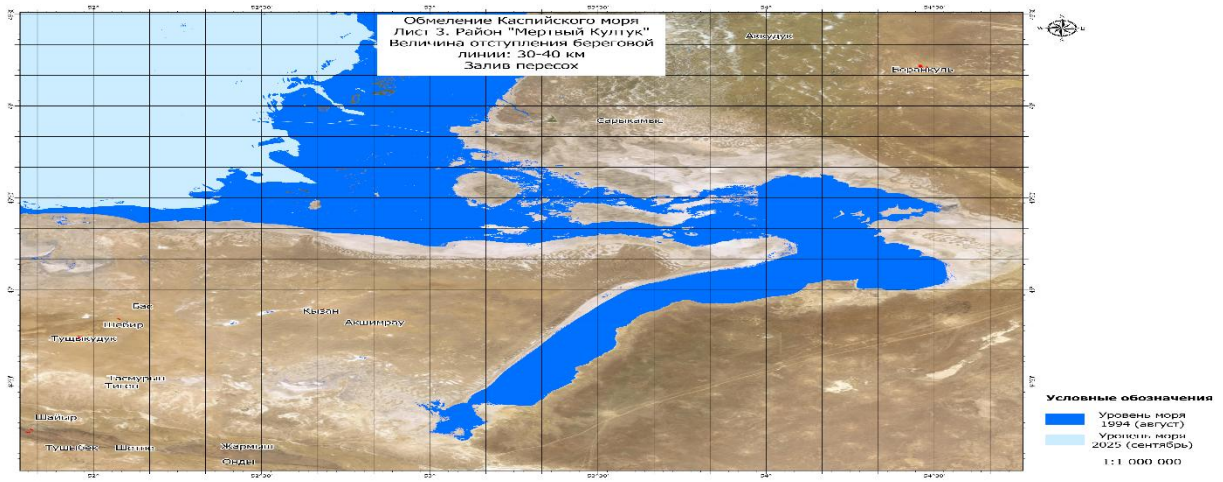

Рисунок 4. Мониторинг уровня моря на контрольных участках по спутниковым данным высокого разрешения (район Мертвый Култук)

Равнозначные Прорве величины отступления в районе Мёртвый Култук — 30–40 км — подтверждают долговременное и резкое обмеление этой части региона.

Ключевые особенности изменений:

- Фактически произошло отступление моря на десятки километров, оставив обширные пустынные пространства.
- Вновь открывшиеся территории отличаются высокой солевой нагрузкой.
- Вероятны значительные изменения микроклимата: учащение пылевых бурь, повышение температуры.
- Среда обитания для большинства водных видов исчезла или значительно трансформировалась.

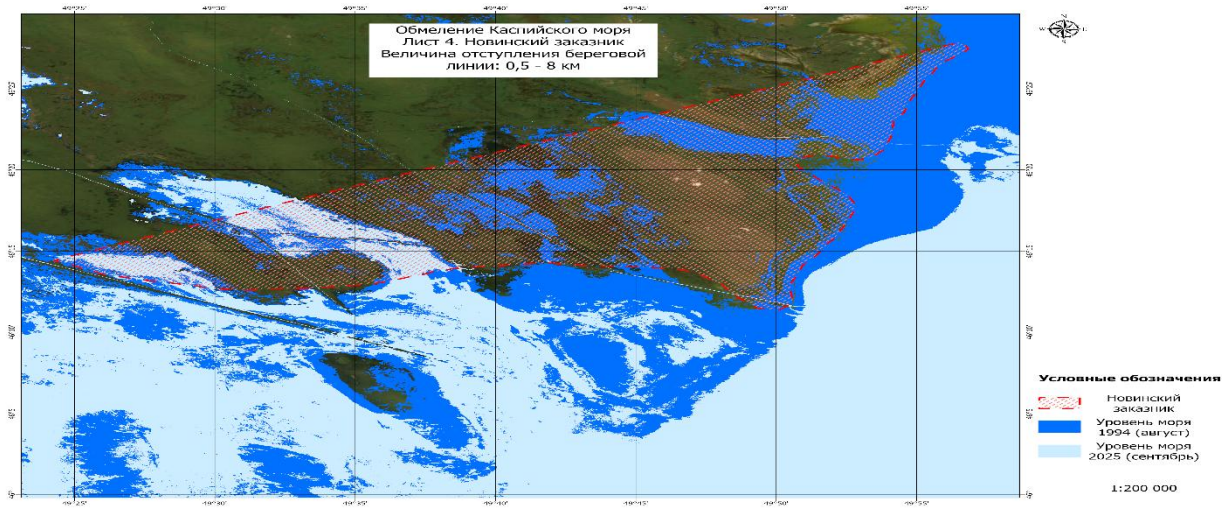

Рисунок 5. Мониторинг уровня моря на контрольных участках по спутниковым данным высокого разрешения (район Новинский заказник)

Осушение в районе Новинского заказника варьируется от минимального (0,5 км) до существенного (8 км), что указывает на неоднородность процессов.

Ключевые особенности изменений:

- На некоторых участках берег отступил незначительно, сохранив часть прибрежных биотопов.
- На других — потери воды достигают нескольких километров, что влияет на местообитания птиц и водно-болотных организмов.

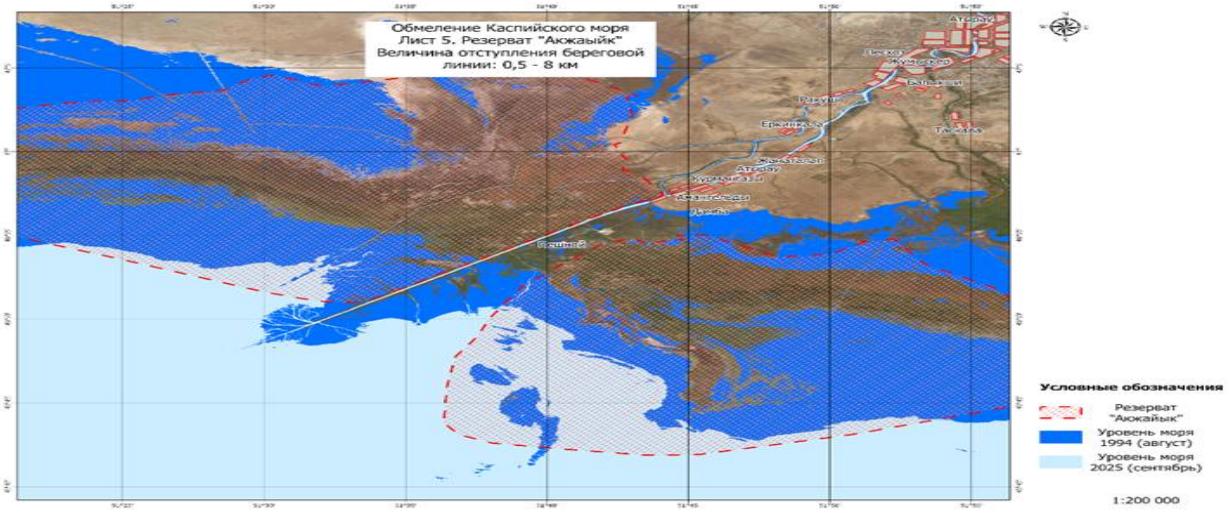

Рисунок 6. Мониторинг уровня моря на контрольных участках по спутниковым данным высокого разрешения (район резерват «Акжайык»)

Заповедная территория «Акжайык», обладая высокой природоохранной ценностью, также подверглась осушению в пределах 0,5–8 км, что представляет угрозу для экосистем дельты Урала.

Ключевые особенности изменений:

- Осушение в большей степени затронуло периферийные участки водно-болотных угодий.
- Сокращение водных зеркал снижает численность водоплавающих птиц.
- Увеличивается опасность появления солончаков внутри бывших плавневых территорий.

Основной механизм изменений — отступ моря, приводящий к формированию новых осушенных территорий, увеличению площадей мелководья и существенной трансформации прибрежного рельефа. Наибольшие изменения наблюдаются в низменных участках и дельтовых зонах, где интенсивность осушения максимальна.

3.3 Обсуждение

Результаты анализа пространственно-временной динамики подтверждают, что в казахстанском секторе Каспийского моря в 2000–2025 гг. происходит устойчивое и последовательное расширение зон осушения. Эта тенденция выражена по всей акватории, однако её интенсивность возрастает во второй половине исследуемого периода, начиная примерно с середины 2010-х годов. Отмеченное ускорение свидетельствует о переходе системы в более активную фазу трансформации, когда даже небольшие изменения гидрологических условий вызывают значительные сдвиги в положении береговой линии.

Особое внимание привлекает тот факт, что процессы регрессии моря развиваются неравномерно в пространстве. Наиболее глубокие изменения характерны для северной части

казахстанского побережья, где сочетание мелководья, открытой конфигурации береговой зоны и зависимости от речного питания делает регион уязвимым к понижению уровня моря. Здесь смещение границы суши происходит быстрее, чем в других сегментах моря, что приводит к стремительному формированию новых участков суши и перестройке прибрежных геосистем.

Центральные и южные районы также демонстрируют явное отступление акватории, однако его профиль более вариативен. В участках с низкими абсолютными отметками рельефа наблюдается существенное увеличение площади осушения, поскольку даже умеренное падение уровня воды вызывает обширное оголение дна. В более повышенных или структурно устойчивых зонах изменения протекают медленнее, но общая тенденция регрессии остаётся неизменной. Такое сочетание факторов указывает на то, что современные процессы обусловлены не только крупномасштабными климатическими влияниями, но и внутренней неоднородностью геоморфологической структуры побережья.

Последствия происходящих изменений выходят за рамки простой перестройки береговой линии. Образующиеся сушевые пространства характеризуются иным режимом увлажнения и высокой соленостью поверхностных отложений, что ведёт к формированию новых типов ландшафтов — от засолённых равнин до молодых пустынных участков. Изменение режима увлажнения и перераспределение водно-болотных угодий оказывают прямое воздействие на структуру биоценозов, уменьшая площади пригодных местообитаний для водоплавающих птиц, рыб и других представителей прибрежных комплексов.

С учётом выявленных тенденций становится очевидным, что трансформация казахстанского сектора Каспия носит системный характер и, вероятно, будет продолжаться при сохранении современных климатических условий. В этой связи актуализируется необходимость регулярного мониторинга динамики уровня моря, анализа гидрологического баланса и оценки экологических последствий сокращения акватории. Дальнейшие исследования должны быть направлены на уточнение механизмов, управляющих регрессией моря, а также на разработку подходов к адаптации природных и социально-экономических систем к стремительно меняющимся условиям.

3.4 Заключение

Результаты анализа позволяют утверждать, что в течение рассматриваемого периода произошло устойчивое и значительное сокращение площади акватории казахстанского сектора Каспийского моря. Независимо от локальных особенностей, все исследованные участки демонстрируют прогрессирующее увеличение осушенных территорий, что свидетельствует о долговременной тенденции деградации прибрежных зон. Особо примечательной является выявленная интенсификация процессов в последние годы, что указывает на усиление факторов, определяющих общее снижение уровня моря.

Сформированные за 25 лет сушевые пространства становятся важным элементом современной структуры побережья и требуют включения в дальнейшие оценки состояния региона. Трансформация береговой зоны ведёт к изменениям природных условий, затрагивает функционирование экосистем и создаёт новые вызовы для природопользования. Учитывая масштабы произошедших преобразований, дальнейшее исследование направлений развития осушённых территорий и их влияния на окружающую среду является актуальной задачей.

Полученные результаты подчёркивают важность систематического мониторинга береговой линии с использованием дистанционных средств измерений. Полученные

результаты являются основой для последующих исследований и разработки подходов к адаптации природных и хозяйственных систем к продолжающемуся обмелению.

Использование высокодетальных спутниковых данных позволяет не только визуализировать масштабы изменений, но и количественно оценивать скорость регрессии воды, что является ключевым для планирования мер по охране прибрежных экосистем и управлению водными ресурсами.

3.5 Список использованных источников

1. Ивкина Н. В., Терехов А. Н., Наурозбаева Ж. А. Колебания уровня Каспийского моря и диагностика современных изменений положения береговой линии по спутниковым данным LANDSAT периода 2005–2015 годов // Гидрометеорология и экология. — 2015. — № 2. — С. 89–99.
2. https://journal.kazhydromet.kz/kazgidro/article/view/105
3. Ивкина Н. В. Колебания уровня и их влияние на нефтяное загрязнение казахстанского сектора Каспийского моря // Гидрометеорология и экология. — 2023. — № 2. — С. 62–72.
4. https://journal.kazhydromet.kz/kazgidro/article/view/105
5. Базарбай Л., Елтай А., Жагпарова N., Шишкина G. Влияние реки Жайык на уровень Каспийского моря // Гидрометеорология и экология. — 2024. — № 4. — С. 7–14.
6. https://doi.org/10.54668/2789-6323-2024-115-4-7-14
7. Сергеева А. А., Кошим Ә., Сапаров Қ. Природно-рекреационная оценка Каспийского моря и его побережья // Гидрометеорология и экология. — 2023. — № 2. — С. 174–186.
8. https://journal.kazhydromet.kz/kazgidro/article/view/94
9. Исентаев К. Б., Каменев Е. А., Скоцеляс И. И. Воздействие повышения уровня воды Каспийского моря на окружающую среду // Гидрометеорология и экология. — 2023 (переиздание исследования 2000 г.).
10. https://journal.kazhydromet.kz/kazgidro/article/view/1849
11. Мамаева N. (2023). Визуализация изменений береговой линии Каспиийского моря. Гидрометеорология и экология, (3), 63–67.
12. https://doi.org/10.54668/2789-6323-2021-102-3-63-67
13. Chen J., Cazenave A., Wang S.-Y., Li J. Caspian Sea Level Change Observed by Satellite Altimetry // Remote Sensing. — 2023. — Vol. 15, № 3. — Article 703.
14. (PDF) Caspian Sea Level Change Observed by Satellite Altimetry
15. Dyakonov G. S., Ibrayev R. A. Long-term evolution of Caspian Sea thermohaline properties reconstructed in an eddy-resolving ocean general circulation model // Ocean Science. — 2019. — Vol. 15. — P. 527–541. OS - Long-term evolution of Caspian Sea thermohaline properties reconstructed in an eddy-resolving ocean general circulation model
16. Decadal changes in meteorological extremes and environmental consequences in the Caspian Sea Region // Discover Atmosphere. — 2025. Decadal changes in meteorological extremes and environmental consequences in the Caspian Sea Region | Discover Atmosphere
17. Naderi Beni A., Lahijani H., Mousavi Harami R., et al. Caspian Sea-level changes during the last millennium: historical and geological evidence from the south Caspian Sea // Climate

of the Past. — 2013. — Vol. 9, № 4. — P. 1645–1665. CP - Caspian sea-level changes during the last millennium: historical and geological evidence from the south Caspian Sea

18. Shabanova N., Lahijani H., Pourkerman M. Caspian sea level changes at the end of Little Ice Age and its impacts on the avulsion of the Gorgan River // Méditerranée. — 2014. — P. 145–155. Caspian Sea-level changes at the end of Little Ice Age and its impacts on the avulsion of the Gorgan River : a multidisciplinary case study from the southeastern flank of the Caspian Sea

19. Karbassi A., Daryaei M. Caspian Sea level change impacts regional seismicity // Journal of Great Lakes Research. — 2012. — Vol. 38, Issue 4. — P. 667–672.

20. Caspian sea level change impacts regional seismicity - ScienceDirect

21. Hofmann A., Arpe K., Leroy S. Caspian Sea evaporating as temperatures rise: evidence from climate reanalysis // AGU / Earth's Future. — 2017.

22. Caspian Sea evaporating as temperatures rise, study finds

23. Saeidzadeh A., Ghorbani M., Kazemi S. Spatiotemporal dynamics of northern Caspian shorelines (1985–2023) and implications for coastal management // Coastal Studies Journal. — 2025.Moradi H., Tavakoli V., Rahmati O. Tracking sea-level impacts on Ramsar sites and potential restoration of Gorgan Bay // Wetlands Ecology. — 2023.

24. Spatiotemporal dynamics of northern Caspian shorelines (1985–2023) and implications for coastal management: Lessons from the Aral Sea | PLOS One

4 Полевые исследования прибрежной зоны Северного Каспийского моря

4.1 Маршрут № 1

Период: ноябрь 2025 г.

Район исследования: участок прибрежной зоны между водозаборным каналом №1 и водосбросным каналом №2 Мангистауского энергетического комбината (МАЭК). Длина участка 5 км, расположен на юге от г.Актау (фото1).

Цель исследования: Определения ширины регрессивной береговой зоны (осушенной) сформированный в результате понижение уровня моря и отступления береговой линии. Изучение состояние почвы, прибрежного ландшафта и акватории моря.

Состав: 1. Абдрахметов М.А – руководитель экспедиции
2. Кенесов М. – ведущий инженер-геодезист

Оборудование: 1. дрон-квадрокоптер Dji Mavic 4 pro
2. GPS-навигатор

Начало : 10ч.15мин. 11 ноября 2025г

Окончание: 12час.00мин.11 ноября 2025г

Погодные условия: температура воздуха 11°C
влажность 54%
ветер В, 7м/сек
давление 1023,4 гПа
видимость 10км.
облачность малооблачно.

Гидрологические условия: уровень моря - 29,66см.
температуры воды +11°C
высота волны < 0,5 см.

Описание работ. Определения ширины осушенной зоны проведена расчетным методом. Измерения расстояние от исходной береговой линии до изолинии -27.00 см. соответствующий уровня моря 2015 г. Измерения проводились GPS-навигатором дрона. Для привязки GPS-навигатора с наземной системой координат установлены точки: точка №1 с координатами 43°30′54″с.ш. и 51°17′41″ в.д. у уреза воды и точка №2 с координатами 43°30′50″с.ш. и 51°17′22″ в.д. на изолинии -27.00 см (фото 2).

Управления дроном осуществлен ведущим специалистом-гидрологом. Высота полета 80 м, скорость 15 км/час, дальность 22 км, продолжительность 10 мин. По данным измерения произведенного GPS-навигатором дрона расстояние между точкой № 1 и № 2 450 м. Ширина осушенного участка морского дна составляет 450 м. Береговая линия отступала среднем на 45см в год.

Рельеф и ландшафт: Осушенное морское дно. Ровный, слабонаклонный участок. Почва сложена песчано-илистыми, глинистыми и ракушечными отложениями. Слабо засолена, с редкой растительностью (фото 3, 4). Возможно временное затопление при штормовых нагонах.

Фото 1

Google Earth Pro
Файл Редактировать Вид Инструменты Добавить Справка
Поиск
Метки
Мои метки
скважина
Сарытас залив
Сарытас кэмпинг
МАЭК
Карагие-Карак...
риксос
кошак
1 точка
точка 2
1точка
2точка
Временные метки
Измерение линии
Слои
Основная база д...
Уведомления
Границы и назв...
Места
Фотографии
Дороги
3D-здания
Погода
Галерея
Еще
Рельеф
М 1:1000м
2-очка
1точка
450м
Google Earth

Фото 2

Фото 3

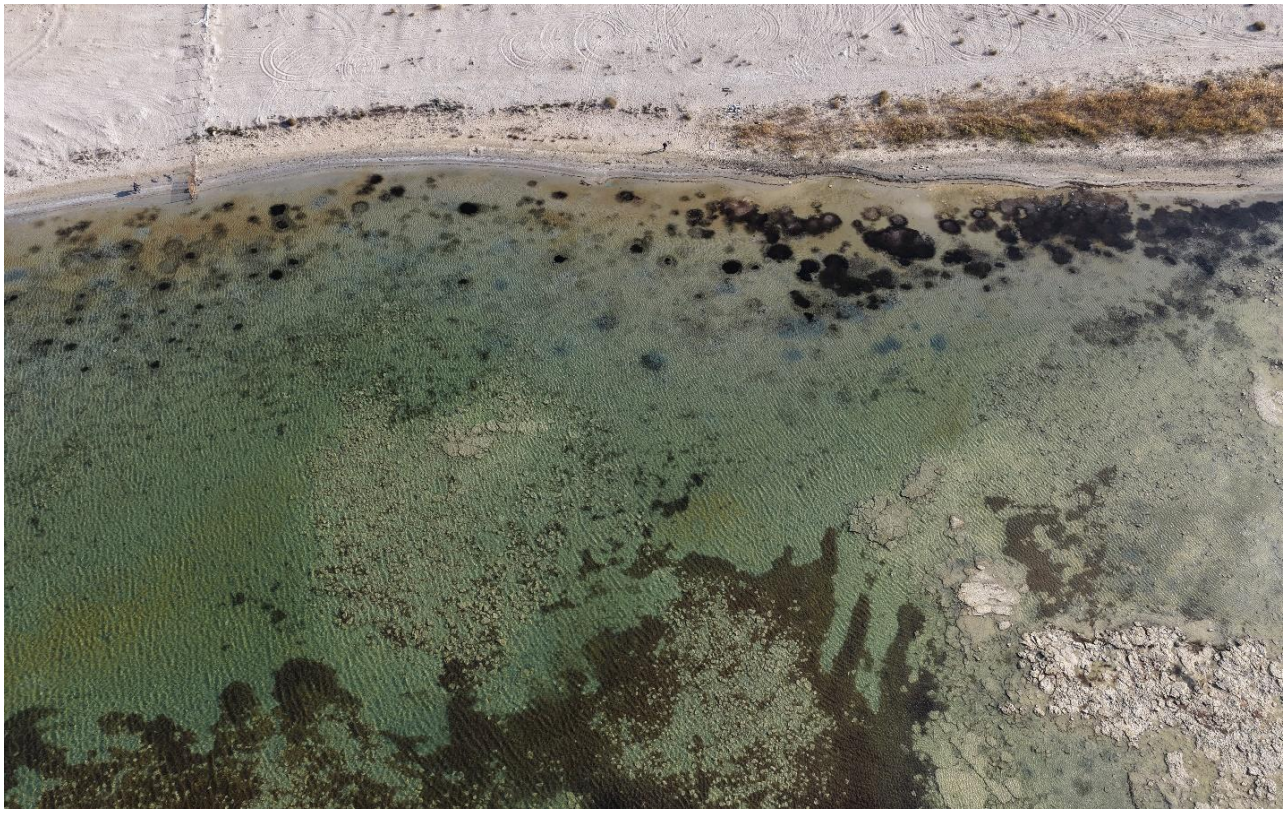

Фото 4

Фото 5

4.2 Маршрут № 2

Период: ноябрь 2025 г.

Район исследования: Полуостров Тюб-Караган, южное побережье залива Мангыстау, участок Сарытас. Расстояние от г.Актау до базовой станции Сарытас 140 км (фото 1, 2, 3).

Цель исследования: Определения ширины осушенного участка побережье Северного Каспийского моря. Изучение почвы и ландшафта.

Состав экспедиции: 1. Абдрахметов М.А – руководитель экспедиции.
2. Кенесов М. – ведущий инженер-гидролог

Оборудование: 1. дрон-квадрокоптер
2. GPS-навигатор

Начало: 09ч.30мин. 12 ноября 2025 г.

Окончание: 10час.30мин. 12 ноября 2025 г.

Погодные условия: температура воздуха 14°С
влажность 78%
ветер СВ, 4м/сек
давление 1020,4 гПа
видимость 8 км.
облачность 8 баллов.

Гидрологические условия: уровень моря - 29,68см.
температуры воды +11°С
высота волны < 0,5 см.

Описание работ. Определения ширины осушенной зоны производится расчетным методом. Измерения расстояние от исходной береговой линии до изолинии -27.00 см соответствующий уровня моря 2015г.Измерения проводились GPS-навигатором дрона. Для привязки GPS-навигатора с наземной системой координат установлены точки: точка №1 с коррдинатами 44°28′50″с.ш.и 51° 10′ 38″в.д. у уреза воды и точка №2 с координатами 44 °28′14 ″с.ш. и 51° 10′ 29″ на изолинии -27.00 см (фото 4)). Управления дроном осуществлен ведущим специалистом- гидрологом. Высота полета 103 м, скорость 18 км/час, дальность 4,9 км, продолжительность 20 мин. По данным измерения произведенного GPS-навигатором дрона расстояние между точкой №1 и №2 1115 м. Ширина осушенного участка морского дна составляет 1115 м. Береговая линия отступала среднем на 111,5 м в год.

Рельеф и ландшафт: Прибрежно-морская равнина, осушенное морское дно вследствие понижения уровня моря (фото 5, 6). Покрытие: илово-глинистое, песчано-ракушечное. Почвы засоленные, с пустынной растительностью (фото 7, 8, 9)

Фото 1

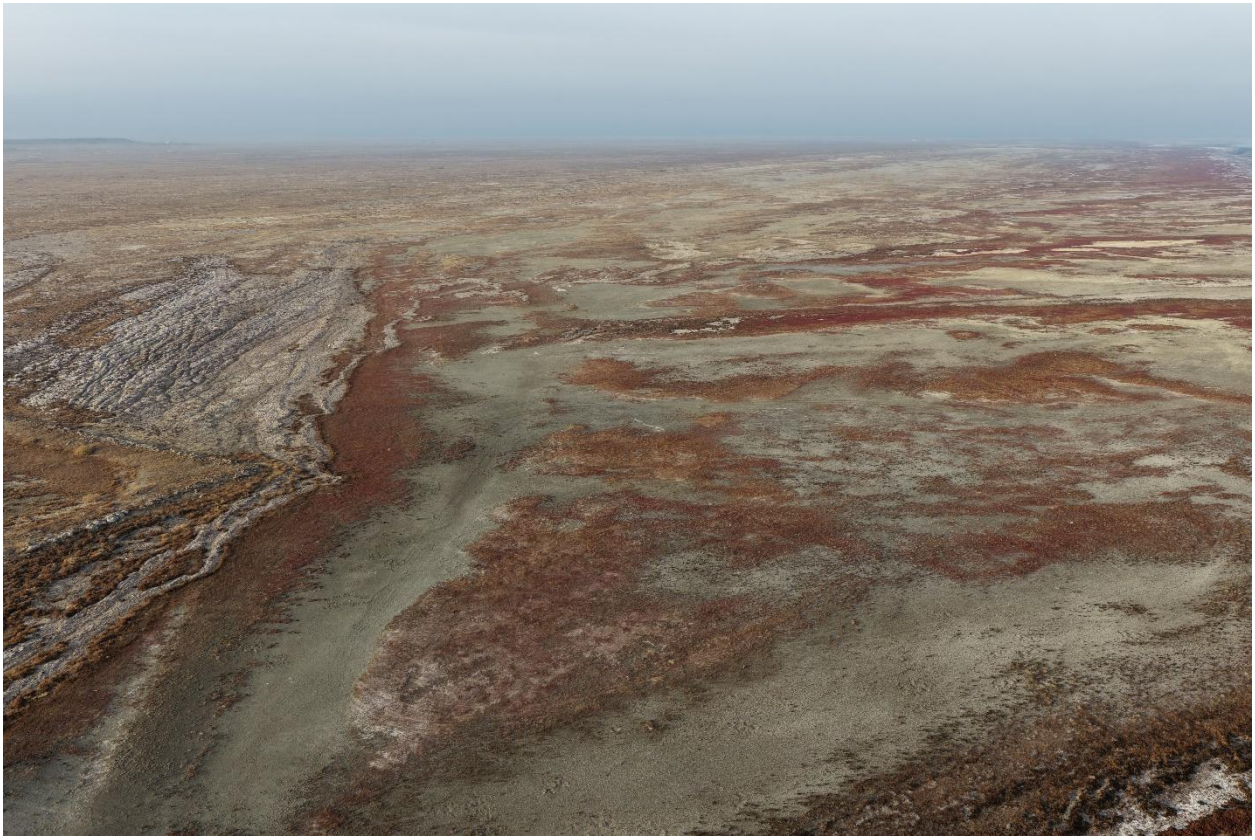

Фото 2

Фото 3

Залив Сарытас
1точка
M 1:2000
S=1115м
2точка
Сарытас кэмпинг
Google Earth

Фото 4

Фото 5

Фото 6

Фото 7

Фото 8

Фото 9

4.3 Маршрут № 3

Период: ноябрь 2025 г.

Район исследования: Полуостров Тюб-Караган, восточное побережье залива Мангыстау, участок залив Кошак (фото 1, 2).

Цель исследования: Определения ширины осушенного участка побережье Северного Каспийского моря. Изучение почвы и ландшафта.

Состав экспедиции: 1. Абдрахметов М.А – руководитель экспедиции.
2. Кенесов М. – ведущий инженер-геодезист

Оборудованиу: 1. дрон-квадрокоптер
2. GPS-навигатор

Начало: 12 ч.00 мин. 12 ноября 2025 г.

Окончание: 12 час. 45 мин. 12 ноября 2025 г.

Погодные условия: температура воздуха 15°С
влажность 78%
ветер СВ, 5м/сек
давление 1020,4 гПа
видимость 10 км.
облачность 4 баллов.

Гидрологические условия: уровень моря - 29,68 см.
температуры воды +11°С
высота волны 0,5 см.

Описание работ. Определения ширины осушенной зоны производится расчетным методом. Определение расстояние от исходной береговой линии до изолинии --27.00см. соответствующий уровня моря 2015 г. Измерения проводились GPS-навигатором дрона. Для привязки GPS-навигатора с наземной системой координат установлены точки: точка №1 с координатами 44° 30′ 36″ с.ш. и 51° 38′ 40″ в.д. у уреза воды и точка №2 с координатами 44° 32′ 16″ с.ш. и 51° 30′ 31″в.д. на изолинии -27.00 см. Управления дроном осуществлен ведущим специалистом- гидрологом. Высота полета 103 м, скорость 18 км/час, дальность 4,9 км, продолжительность 20 мин. По данным измерения произведенного GPS-навигатором расстояние между точкой №1 и №2 10,5 км (фото 3). Ширина осушенного участка морского дна составляет 10500 м. Береговая линия отступала среднем на 1,05км в год.

Рельеф и ландшафт: Прибрежно-морская равнина осушённая вследствие понижения уровня моря. Покрытие илово-глинистое, песчано-ракушечное. Почвы засоленные, с пустынной растительностью (фото 4, 5, 6, 7).

Фото 1

Фото 2

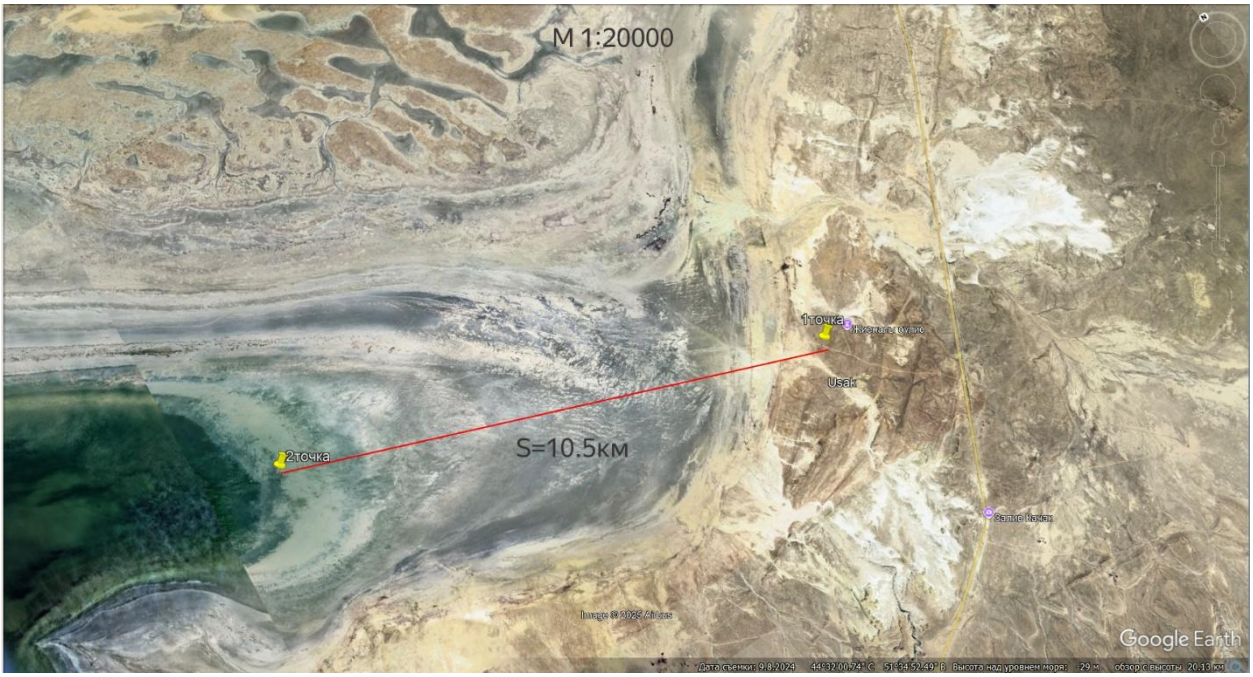

Фото 3

Фото 4

Фото 5

Фото 6

Фото 7

4.4 Маршрут № 4

Период: ноябрь 2025 г.

Район исследования: Полуостров Бозашы, побережье залива Кайдак. Участок — разъезд №10. Расстояние от г. Актау до залива Кайдак 236 км (рис.1, 2, 3).

Цель исследования: Целью работы является определение параметров осушенной зоны побережья и анализ изменений береговой линии, изучение почвы и ландшафта..

Состав экспедиции: 1. Абдрахметов М.А– руководитель морского экспедиционного отряда (МЭО)

2. Кенесов М. – ведущий инженер.

Оборудование: 1. дрон-квадрокоптер Dji Mavic 4 Pro

2. GPS-навигатор : Garmin etrex 10

Начало : 11ч.12мин. 25 ноября 2025г

Окончание: 11час.36мин.25 ноября 2025г

ветер ЮВ, 7м/сек

давление 1020,4 гПа

видимость 8 км.

облачность 7 баллов.

Гидрологические условия: уровень моря - 29,63 мБС.

температура воды +10.5°С

солёность 13,13 г/л.

Погодные условия: температура воздуха 11.9°С

влажность 45%

Описание работ. Определения расстояние осушенного участка с 2006 г. по 2009 г. и площади по 2025 г. по данным спутникового снимка. Спутниковые снимки (фото 5, 6) Исходный данные: спутниковый снимки залива Кайдак за 2009 г., 2025 г. и изолиния -27.00 м. соответствующий уровня моря 2006 г. Измерения выполнялись с примерением дрона DJI Mavic 4 Pro оснащенного GPS-навигацией. Для привязки к наземной системе координат были установлены реперные точки №1 и №2 и Кайдак 2016.

№ п/п	Наименование	Координаты	
		С.Ш.	В.Д.
1	2	3	4
	Точка №1	44° 09′ 39″	52° 57′ 26′
	Точка №2	44° 11′ 55″	52° 58′ 11″
	Кайдак 2016	44° 24′ 31″	53° 12′ 50″

Система координат – WGS 84

Управления дроном осуществлен ведущим специалистом – Инженером отдела Морских гидрометеорологических исследований (ОМГИ). Высота полета – 93м, скорость - 21 км/час, дальность - 4296 м, продолжительность 24 мин. По данным измерений, выполненных GPS-навигатором расстояние между точкой №1 и №2 составляет D12 = 4,3 км, от №2 точки до №3 составляет D12= 33 км. Ширина осушенного участка морского дна составляет33км. Береговая линия отступала среднем на 55,75 м в год (рис.4, 5, 6). Площадь морского дна залива Кайдак осушенного в результате понижение уровня составило 18000 км².

Рельеф и ландшафт: Прибрежно-морская равнина. Почва сложена песчано-ракушечными отложениями. Сильно засолена, с пустынной растительностью. Наблюдается сильные пыльные бури в теплый период года (рис.8, 9, 10, 11, 12).

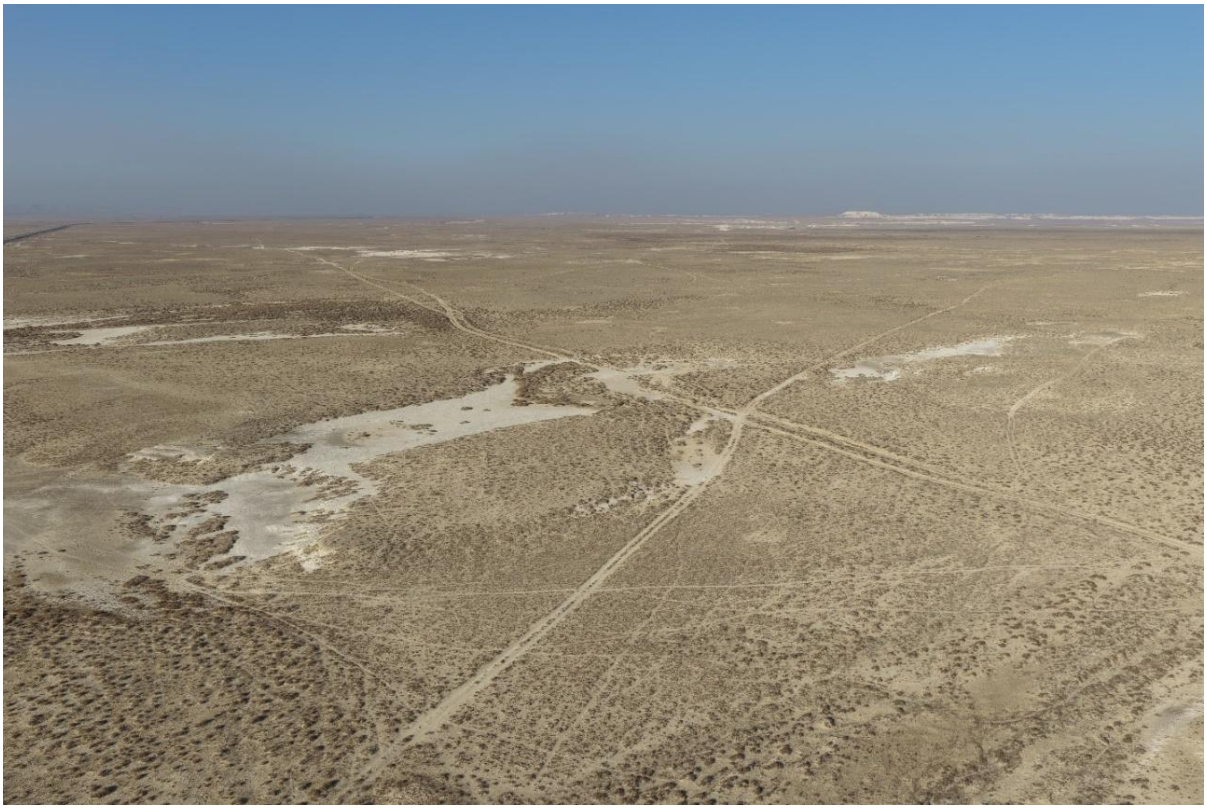

Рис. 1

Рис. 2

Рис. 3

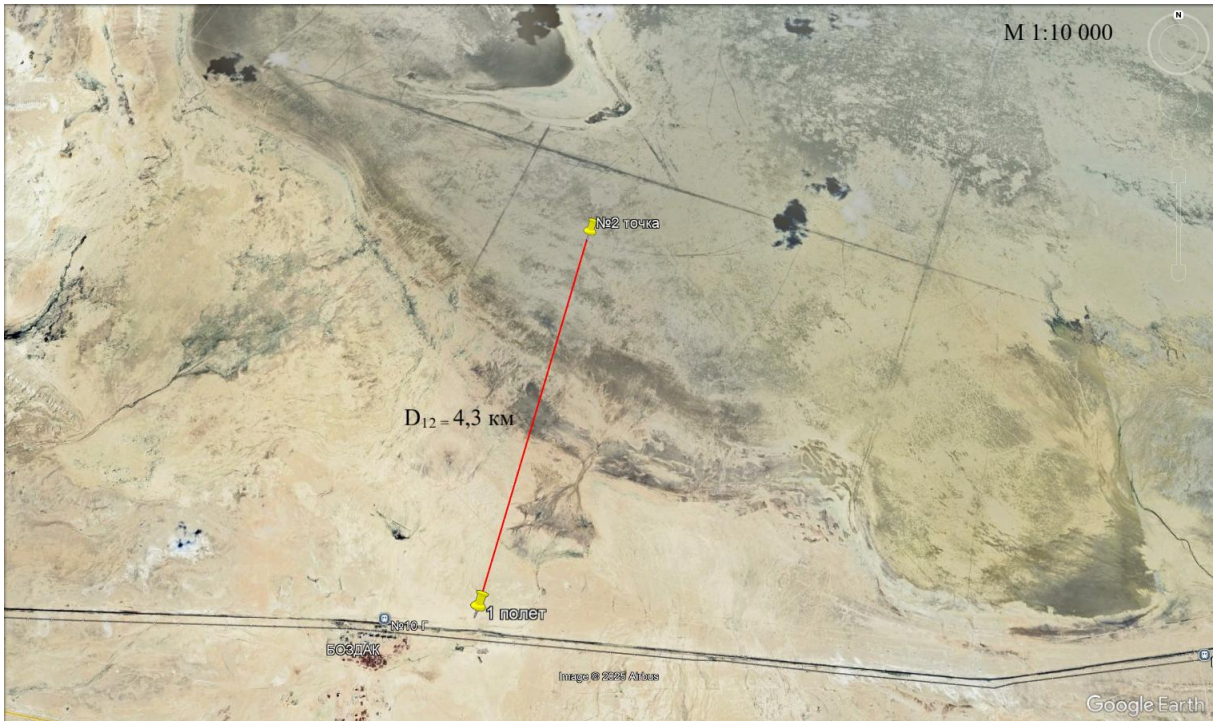

Рис. 4

M 1: 250 000
Кулук 2016
D12- 33 км
1 полет
Google Earth

Рис. 5

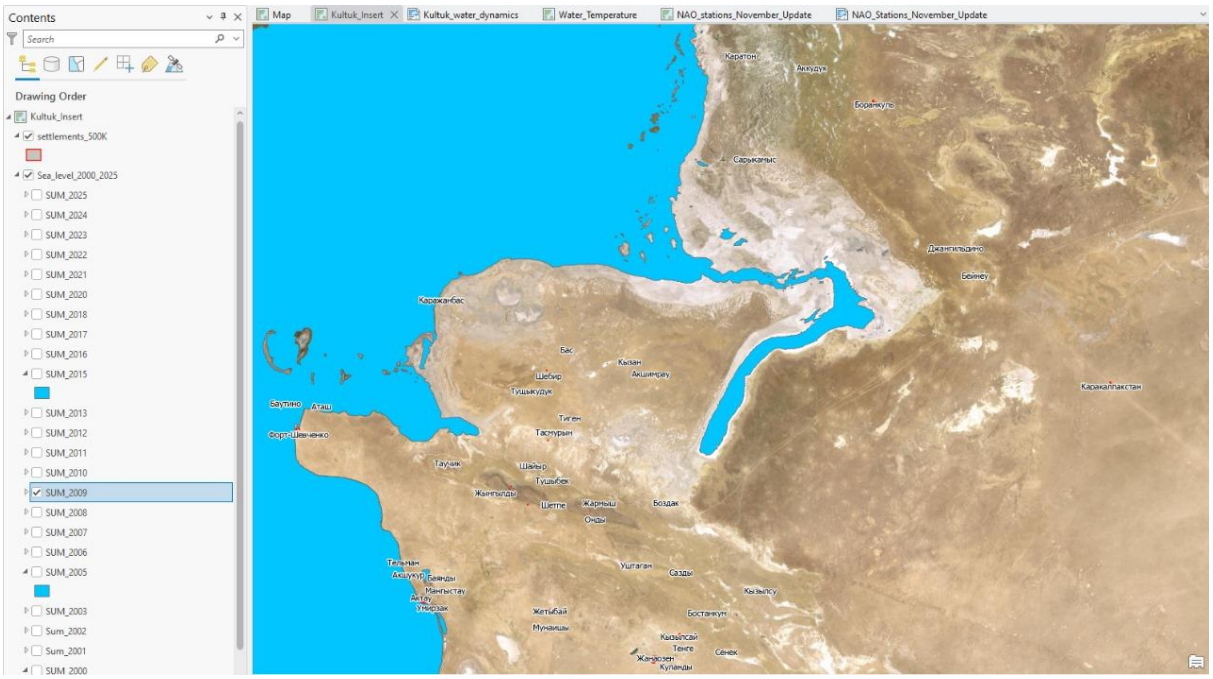
Contents
Search
Drawing Order
Kultuk_Insert
settlements_500K
Sea_level_2000_2025
SUM_2025
SUM_2024
SUM_2023
SUM_2022
SUM_2021
SUM_2020
SUM_2018
SUM_2017
SUM_2016
SUM_2015
SUM_2013
SUM_2012
SUM_2011
SUM_2010
SUM_2009
SUM_2008
SUM_2007
SUM_2006
SUM_2005
SUM_2003
Sum_2002
Sum_2001
SUM_2000
Map
Kultuk_Insert
Kultuk_water_dynamics
Water_Temperature
NAO_stations_November_Update
NAO_Stations_November_Update

Рис. 6

Рис.77

Рис. 8

Рис. 9

Рис.10

Рис. 11

Рис. 12