

# Метеорологические характеристики как факторы воздействия на колебания уровня и изменения экосистемы прибрежной зоны казахстанского сектора Каспийского моря

Серик Ахметов\*

НАО «Казахский научно-исследовательский институт Каспийского моря», Актау, Казахстан; [serik.akhmetovkz@gmail.com](mailto:serik.akhmetovkz@gmail.com)

\*Корреспонденция: [serik.akhmetovkz@gmail.com](mailto:serik.akhmetovkz@gmail.com)

**Аннотация.** В статье проводится анализ многолетних изменений температуры воздуха и осадков в прибрежной зоне казахстанского сектора Каспийского моря. Основное внимание уделено вопросам оценки влияния изменения климатических факторов на колебания уровня Каспийского моря, которые, в свою очередь, в последние несколько десятилетий негативно сказываются на состоянии экосистемы прибрежной зоны моря.

В данном исследовании проведён анализ фаз подъёма и спада уровня моря с сопоставлением их с аналогичными временными периодами метеорологических параметров, таких, как температура воздуха и атмосферные осадки. Данный метод анализа позволяет определить взаимосвязи между гидрологическим режимом моря и региональными климатическими факторами и оценить влияние многолетних колебаний динамики температуры воздуха и осадков на динамику уровня воды. Выявляются ключевые факторы, определяющие климатическую специфику региона, и обсуждается их влияние на экологию и хозяйственное использование прибрежной зоны. В работе показано, что за период с середины прошлого века на территории прибрежной зоны казахстанского сектора Каспийского моря сформировалась тенденция к повышению среднегодовой температуры воздуха, сопровождающаяся сокращением количества осадков на большинстве исследуемых пунктах наблюдений. Установлена связь между изменениями температурного режима, режимом осадков и многолетними колебаниями уровня Каспийского моря. Отмечается, что современный этап падения уровня моря развивается в условиях ускоренного потепления климата. Полученные результаты подчёркивают важность учёта региональных климатических особенностей при прогнозировании дальнейших изменений уровня Каспийского моря и разработке мер адаптации.

**Ключевые слова:** метеорологические характеристики; прибрежная зона; климатические тренды; водный баланс; колебания уровня; долгосрочные наблюдения; климатические периоды; гидрометеорологический режим; фоновые колебания уровня моря; экосистема.

**Цитирование:** Ахметов, С. (2025). Метеорологические характеристики как факторы воздействия на колебания уровня и изменения экосистемы прибрежной зоны казахстанского сектора Каспийского моря. *Journal of Ecology and Sustainability*, 153(1), 41-56. <https://doi.org/10.32523/c8d6nx78>

Академический редактор:  
А. Зандыбай

Поступила: 17.12.2025  
Исправлена: 22.12.2025  
Принята: 23.12.2025  
Опубликована: 30.12.2025



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

## 1. Введение

Каспийское море - крупнейший водный объект в мире, не имеющий гидравлической связи с Мировым океаном. Его уровень как внутриконтинентального водоема подвержен значительным колебаниям под влиянием как природных, так и антропогенных факторов. На протяжении исторического периода уровень Каспийского моря характеризовался значительной изменчивостью, отражающей сложное взаимодействие климатических, гидрологических и хозяйственных процессов (Arpe et al., 2021; Ginzburg et al., 2019; Crétau et al., 2018; Rodionov 2016). В последние годы все более заметное влияние на колебания уровня стали оказывать глобальные и региональные климатическими изменениями, которые способствовали тому, что уровень моря к настоящему времени снизился до исторического минимума за весь период инструментальных наблюдений (Koriche et al., 2022; Lahijani et al. 2023).

В последние десятилетия всё более отчётливо проявляется влияние региональных климатических изменений на режим уровня моря (Serykh et al. 2025; Zavalov et al., 2024). Потепления, сопровождающиеся изменением температурного режима и сокращением атмосферных осадков, привели к тому, что к настоящему времени уровень Каспия приблизился к минимальным значениям за весь период наблюдений (Panin et al., 2021; Salimi et al., 2022). Современный этап падения уровня оказывает заметное негативное воздействие на экологическое состояние моря, функционирование прибрежных экосистем, развитие хозяйственного комплекса прикаспийских государств и условия жизни населения прибрежных территорий (Zonn et al., 2010; Lahijani et al. 2023; Samant & Prange 2024; Koriche et al. 2022). По мнению ряда ученых (Serykh et al., 2025; Samant & Prange, 2024; Ivkina, 2016; Prange et al., 2020; Salimi et al., 2022; Molavi-Arabshahi & Khademi 2023; Qoriche et al. 2025), при пессимистичном сценарии изменения климата к концу текущего столетия снижение уровня моря может привести к значительным изменениям батиметрии моря, потере составляющих экосистему и дальнейшему ухудшению социально-экономических условий в прибрежных странах.

Стремительное снижение уровня Каспийского моря, продолжающее уже в течение 30 лет, уже оказало существенное негативное влияние на экологическое состояние моря, развитие хозяйственного комплекса прикаспийских государств, а также благополучие населения прибрежных территорий (Panin et al. 2021; Salimi et al. 2022; Ostrovskaya et al. 2023).

В этой связи представляется крайне актуальным провести анализ изменений основных метеорологических характеристик, таких, как температура воздуха и осадки в прибрежной зоне Каспийского моря с тем, чтобы оценить их возможное влияние на фоновые колебания уровня Каспийского моря.

Проведение совместного анализа многолетней динамики фонового уровня моря и метеорологических характеристик прибрежной зоны казахстанского сектора Каспийского моря позволит проследить связи между региональными изменениями климата и элементами водного баланса Каспийского моря и может послужить основой для формирования прогнозных моделей колебаний уровня моря и выработки мер адаптации к ним в условиях глобальных климатических изменений.

Цель работы заключается в выявлении и оценке роли основных метеорологических факторов: температуры воздуха и атмосферных осадков, которые являются основной составляющей в формировании современных колебаний уровня Каспийского моря в прибрежной зоне казахстанского сектора. В ходе работы будет проанализирована многолетняя динамика колебаний климатических показателей, таких, как температура воздуха и осадки, и сопоставление их изменений с фоновыми колебаниями уровня моря для установления закономерностей и причинно-следственных связей между климатическими параметрами региона и фазами подъёма и спада уровня моря. Полученные результаты направлены на углубление понимания влияния региональных климатических изменений на водный баланс Каспийского моря и могут быть использованы при разработке прогнозных оценок дальнейшей

динамики уровня моря, а также при обосновании мер адаптации природных и хозяйственных систем прибрежных территорий в условиях продолжающегося потепления.

Вопросы изменения уровня моря и климатических условий Каспийского моря изучались многими учёными (Crétau et al. 2018; Zonn et al. 2010; Prange et al. 2020; Leroy et al. 2022; Lahijani et al. 2023; Molavi-Arabshahi & Khademi 2023). При этом большинство исследований либо рассматривали эти процессы по отдельности, либо анализировали их совместно, но не учитывали различные фазы моря и внутренние колебания во времени. В данной работе предлагается объединить эти подходы: уровень моря и климатические показатели, а именно - температура воздуха и атмосферные осадки рассматриваются одновременно, а также с делением на различные фазы подъёма и спада, что позволяет получить более наглядную и целостную картину взаимосвязей между морскими и климатическими процессами.

Новизной данного исследования является то, что впервые проведён анализ фаз подъёма и спада уровня Каспийского моря с сопоставлением их с аналогичными временными периодами метеорологических параметров, таких, как температура воздуха и атмосферные осадки для казахстанского сектора Каспийского моря. Данный метод анализа позволяет не только определить взаимосвязи между гидрологическим режимом моря и региональными климатическими факторами, но также и оценить влияние многолетних колебаний динамики температуры воздуха и осадков на динамику уровня воды. Ранее подобные сравнительные исследования для казахстанского сектора Каспийского моря отсутствовали или ограничивались и рассматривались отдельными показателями, что делает текущую работу более уникальной в контексте изучения связей между климатическими изменениями и колебаниями уровня моря.

## **2. Материалы и методы**

Для проведения анализа метеорологических характеристик в прибрежной зоне казахстанского сектора Каспийского моря были использованы многолетние данные наблюдений за температурой воздуха и осадками на МГ-II Актау, МГ-III Кулалы, остров, МГ-I Форт Шевченко и М-II Пешной, расположенных в характерных пунктах Мангистауской и Атырауской областей. Данные этих метеостанций обеспечивают получение репрезентативной характеристики исследуемой территории и позволяют достоверно оценить пространственно-временные изменения климатических характеристик региона. В анализ были включены данные за весь период наблюдений по всем вышеперечисленным четырём станциям. Ряды наблюдений охватывает достаточно длинные ряды: на МГ-II Актау использованы наблюдения за метеорологическими характеристиками с 1960 по 2023 годы, на МГ-III Кулалы, остров с 1959 по 2023 годы, на МГ-I Форт Шевченко с 1966 по 2023 года и на М-II Пешной с 1991 по 2023 годы. Ряды наблюдений имеют достаточную протяжённость для выявления трендов, особенностей изменения климата в регионе и позволяют проводить сравнительный анализ метеорологических условий различных участков побережья казахстанского сектора Каспийского моря.

Для оценки изменений метеорологических параметров, таких, как температура воздуха и атмосферные осадки за многолетний период, будут определены многолетние тренды по каждому из показателей отдельно. В рамках данного исследования предполагается произвести анализ динамики колебаний климатических характеристик - температуры воздуха и атмосферных осадков с последующим сопоставлением этих изменений с фоновыми колебаниями уровня Каспийского моря. Данный метод анализа даст возможность выявить устойчивые закономерности, оценить взаимосвязи между региональными климатическими факторами и колебанием уровня моря, а также это позволит определить возможные причинно-следственные связи между изменениями метеорологических параметров и гидрологическим режимом моря.

### 3. Результаты

#### 3.1. Температура воздуха

Данные о температуре воздуха, использованные в данном исследовании, были получены из официальной базы данных РГП «Казгидромет» - национальной гидрометеорологической службы Республики Казахстан. Данная организация на протяжении долгого времени осуществляет систематические наблюдения за метеорологическими параметрами, включая температуру воздуха и количество осадков, а также проводит регулярный мониторинг климатических условий в прибрежных и внутренних районах страны. Применение данных РГП «Казгидромет» обеспечивает надёжность и сопоставимость полученных результатов с многолетними климатическими тенденциями, что позволяет объективно оценивать влияние изменения метеорологических параметров на колебания уровня Каспийского моря.

Ряды данных наблюдений за температурой воздуха на МГ-II Актау использованы с 1960 по 2023 годы, на МГ-III Кулалы, остров с 1959 по 2023 годы, на МГ-I Форт Шевченко с 1966 по 2023 года и на М-II Пешной с 1991 по 2023 годы. Хронологический график колебаний среднегодовых температур воздуха по данным МГ-II Актау, МГ-III Кулалы, остров, МГ-I Форт Шевченко и М-II Пешной показан на рисунке 1.



**Рисунок 1.** Изменения среднегодовых температур воздуха по данным морских метеостанций, расположенных в казахстанском секторе Каспийского моря

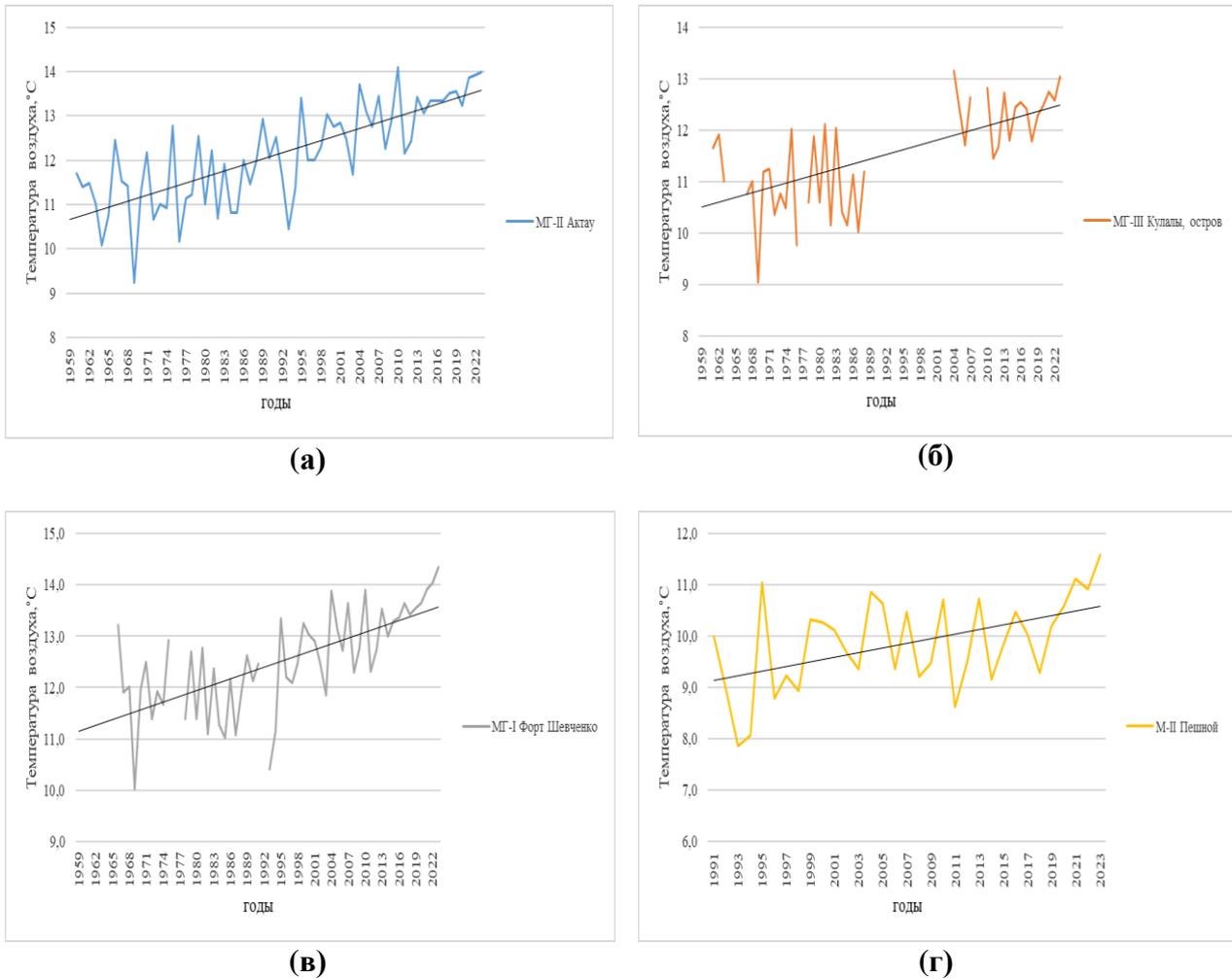
По материалам, представленным на рисунке 1, видно, что временные ряды температуры воздуха являются достаточно длительными для проведения анализов. Хотя в рядах наблюдений имеются пропуски, даже при визуальном анализе графиков на рисунке 1 видно, что прослеживается общая тенденция к росту температуры воздуха по данным наблюдений метеорологических станций. По данным наблюдений также установлено, что многолетняя среднегодовая температура воздуха составляет в пунктах наблюдений в прибрежные зоны казахстанского сектора Каспийского моря равна:

- МГ-II Актау (с 1960 по 2023 годы) - 12,1 °C;
- МГ-III Кулалы, остров (с 1959 по 2023 годы) - 11,5 °C;
- МГ-I Форт Шевченко (с 1966 по 2023 годы) - 12,5 °C;
- М-II Пешной (с 1991 по 2023 годы) - 9,9 °C.

Для более детального анализа колебаний динамики среднегодовой температуры воздуха по каждой морской метеостанции были построены отдельные графики динамики колебания

температур воздуха за многолетний период. На основе полученных рядов данных были выявлены характерные колебания температур воздуха и определены долгосрочные тренды, которые наглядно представлены в графическом виде. Данный метод позволил проследить тренды температурных изменений на уровне каждой метеостанции и оценить вклад каждой из них в общую региональную климатическую обстановку.

Динамика изменения температуры воздуха на каждом из рассматриваемых пунктов наблюдений представлена на рисунке 2.



**Рисунок 2.** Многолетние изменения среднегодовых температур воздуха по данным морских метеостанций, расположенных в казахстанском секторе Каспийского моря (а) МГ-II Актау, (б) МГ-III Кулалы, остров, (в) МГ-I Форт Шевченко, (г) М-II Пешной

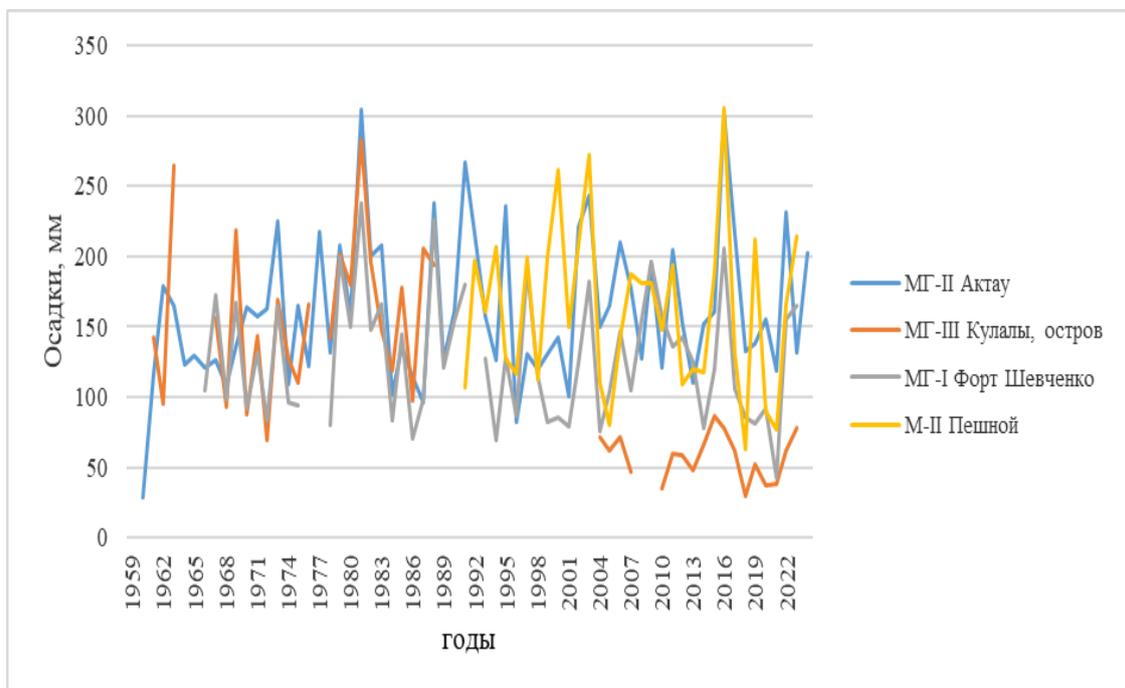
Анализ данных, представленных на рисунке 2, показывает, что на всех рассматриваемых метеорологических пунктах наблюдения отчетливо прослеживается тренд повышения температуры воздуха за период с 1959 года по 2023 годы. При этом нужно отметить, что повышение температуры воздуха наблюдается неравномерность по годам, четко прослеживаются периодические колебания, что указывает на наличие как краткосрочных, так и долгосрочных климатических вариаций. То есть данная закономерность характерна для всех исследуемых морских станций, это позволяет сделать выводы о том, что наблюдаются системные изменения температурного режима в прибрежной зоне казахстанского сектора Каспийского моря. Все это подчеркивает значимость выявленных трендов при анализе влияния климатических факторов на фоновые колебания уровня Каспийского моря.

### 3.2. Атмосферные осадки

Первичная информация об атмосферных осадках, использованные в данном исследовании, была получена из официальной базы данных национальной гидрометеорологической службы - РГП «Казгидромет».

Атмосферные осадки представляют собой один из ключевых компонентов приходной части водного баланса, которая оказывает значимое влияние на формирование стока и источником питания водных объектов. Необходимо учитывать, что именно осадки являются основным источником поступления воды в гидрологическую систему. Вместе с тем отличительной чертой западного региона Казахстана является сравнительно низкое количества выпадающих осадков по сравнению с другими регионами страны, что является причиной появления определённых ограничений для водных ресурсов и гидрологического режима западной территории. Особенно ярко данная особенность проявляется в Мангыстауской области, которая стабильно входит в список регионов с наименьшим объёмом атмосферных осадков, что делает её практически лидером по наименьшему объёму выпадающих осадков среди всех остальных областей. Данную специфику распределения осадков важно учитывать при анализе, оценке и прогнозировании уровня Каспийского моря, а также оценке воздействия климатических факторов на прибрежные экосистемы.

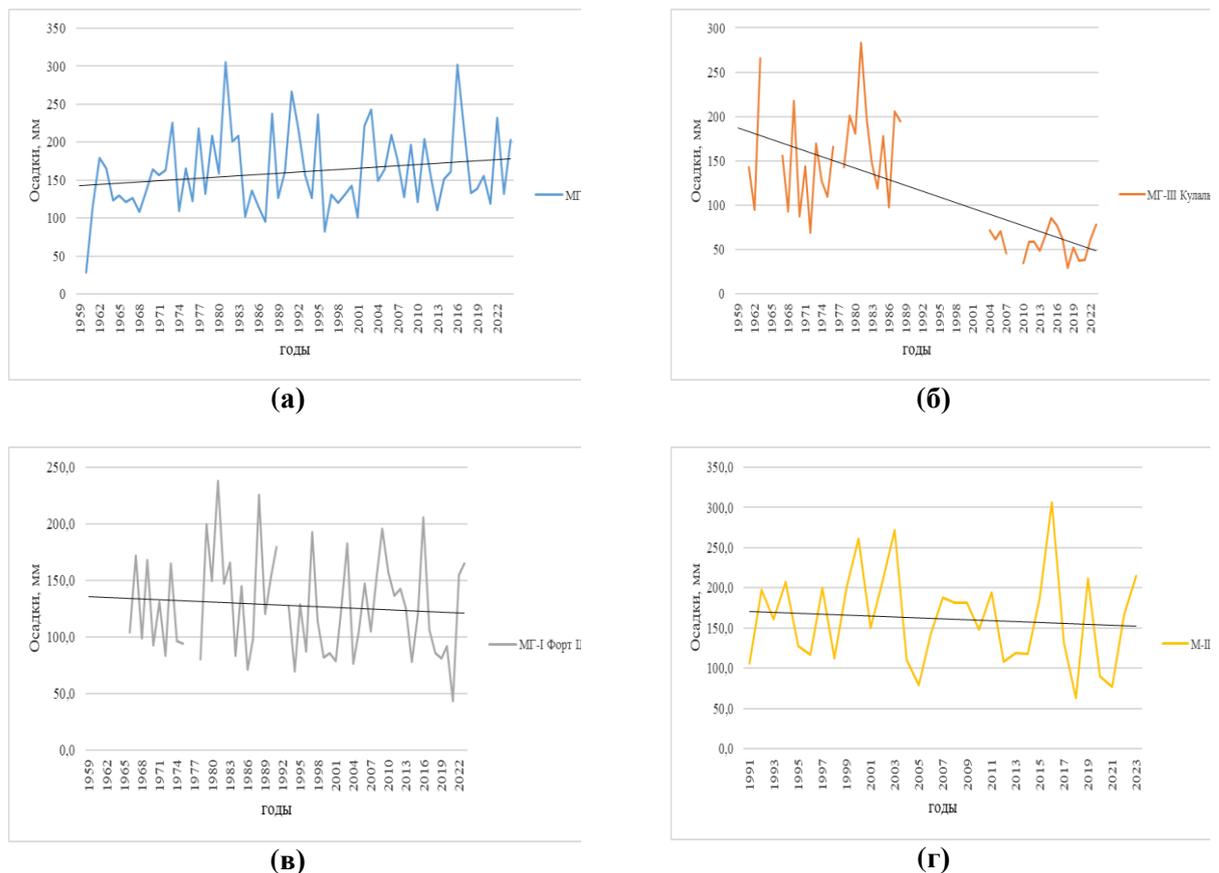
По данным анализа, прибрежная зона казахстанского сектора Каспийского моря характеризуется выпадением небольшого количества осадков. К примеру, годовые суммы осадков за многолетний период по данным МГ-II Актау (1960-2023 гг.) составляют 161 мм/год, МГ-III Кулалы, остров (1959-2023 гг.) - 117 мм/год, МГ-I Форт Шевченко (1966-2023 гг.) - 128 мм/год и по данным М-II Пешной (1991-2023 гг.) – 162 мм/год (рисунок 3).



**Рисунок 3.** Изменения годовых осадков за многолетний период по данным морских метеостанций, расположенных в казахстанском секторе Каспийского моря

По данным, представленным на рисунке 3, видно, что количество атмосферных осадков характеризуется высокой межгодовой изменчивостью. В отдельные годы осадки выпадают в значительных объёмах, тогда как в последующие годы их количество может существенно снижаться.

Проведенный отдельно по каждой из рассматриваемых морских метеостанций анализ изменений годовых сумм осадков за многолетний период (рисунок 4) показал, что в трех из 4 выбранных пунктов наблюдений отмечается тренд, направленный в сторону снижения осадков, наиболее ярко выраженный по данным метеостанции МГ-III Кулалы, остров, расположенный в открытой части моря. Тренд, направленный в сторону повышения годовых сумм осадков, отмечается только по данным одной метеостанции МГ-II Актау. Таким образом, в северной – восточной части Каспия и в особенности на его акватории отмечается снижение количества осадков в многолетнем разрезе.



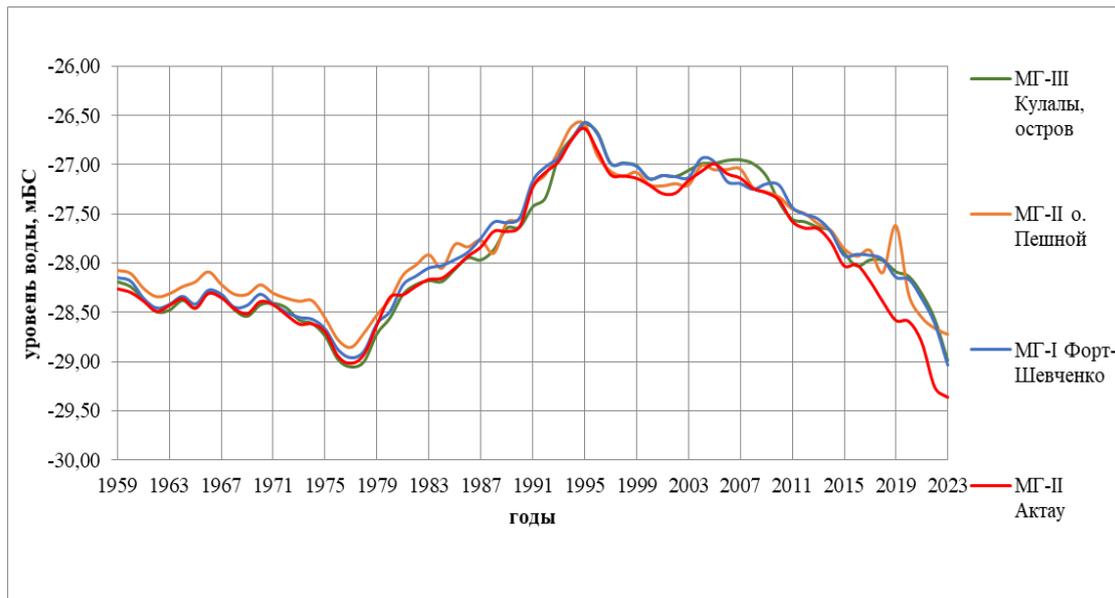
**Рисунок 4.** Многолетние изменения годовых осадков по данным морских метеостанций, расположенных в казахстанском секторе Каспийского моря (а) МГ-II Актау, (б) МГ-III Кулалы, остров, (в) МГ-I Форт Шевченко, (г) М-II Пешной

По результатам выявленных трендов осадков за многолетний период видно, что на метеостанции в МГ-II Актау количество осадков в целом немного увеличивается на протяжении рассматриваемого многолетнего периода (1959-2023 гг.). Тогда как на трех остальных пунктах наблюдений ситуация складывается абсолютно противоположенная. На морской метеостанции МГ-I Форт Шевченко в период с 1966 года по 2023 годы и М-II Пешной в период 1991 года по 2023 годы наблюдается устойчивое снижение объёма осадков с течением времени, что создаёт тенденцию к постепенному сокращению осадков. Наиболее критическую ситуацию можно наблюдать на морской станции МГ-III Кулалы, остров, где за весь период наблюдений (1959-2023 гг.) прослеживается ярко выраженный отрицательный тренд, то есть во временном промежутке объём осадков остаётся крайне низким и продолжает уменьшаться. Данное различие трендов между станциями показывает неоднородность климатических условий в казахстанском секторе Каспийского моря и указывает на необходимость учитывать такие особенности при оценке водного баланса моря и экосистемных процессов прибрежной зоны региона.

### 3.3. Комплексный анализ изменений уровня Каспийского моря и метеорологических параметров в казахстанском секторе Каспийского моря

Совместный анализ колебаний уровня Каспийского моря и метеорологических параметров проводился за период с 1959 по 2023 годы, так как за указанный временной промежуток времени имеются данные многолетних наблюдений как за гидрологическими, так и за метеорологическими характеристиками казахстанского сектора Каспийского моря.

Многолетние колебания уровня Каспийского моря в пунктах наблюдений МГ-III Актау, МГ-III Кулалы, остров, МГ-I Форт Шевченко и М-II Пешной показаны на рисунке 5.



**Рисунок 5.** Многолетние колебания уровня Каспийского моря за 1959–2023 годы

Анализ многолетних колебаний уровня Каспийского моря показывает, что в изменениях уровня моря за период с 1959 по 2023 годы можно выделить несколько характерных этапов. В первый период с 1959 по 1977 годы наблюдалось снижение уровня моря. Падение уровня моря имело устойчивый тренд, но не было резким. В этот период в 1977 году уровень моря снизился до отметки:

- МГ-III Кулалы, остров: уровень моря составил 29,06 м БС;
- М-II Пешной: уровень моря составил 28,85 м БС;
- МГ-I Форт Шевченко: уровень моря составил 28,96 м БС;
- МГ-II Актау: уровень моря составил 29,02 м БС.

Затем в период с 1978 по 1995 годы наблюдался устойчивый подъем уровня моря, в 1995 году значение уровня воды достигло максимальной отметки:

- МГ-III Кулалы, остров: уровень моря составил 26,59 м БС;
- М-II Пешной: уровень моря составил 26,59 м БС;
- МГ-I Форт Шевченко: уровень моря составил 26,57 м БС;
- МГ-II Актау: уровень моря составил 26,63 м БС.

Начиная с 1996 года и по настоящее время наблюдается длительный период падения уровня Каспия. Средний уровень моря по данным вышеперечисленных постов в 2023 году составил:

- МГ-III Кулалы, остров: уровень моря составил 28,99 м БС;
- М-II Пешной: уровень моря составил 28,72 м БС;

- МГ-I Форт Шевченко: уровень моря составил 29,04 м БС;
- МГ-II Актау: уровень моря составил 29,36 м БС.

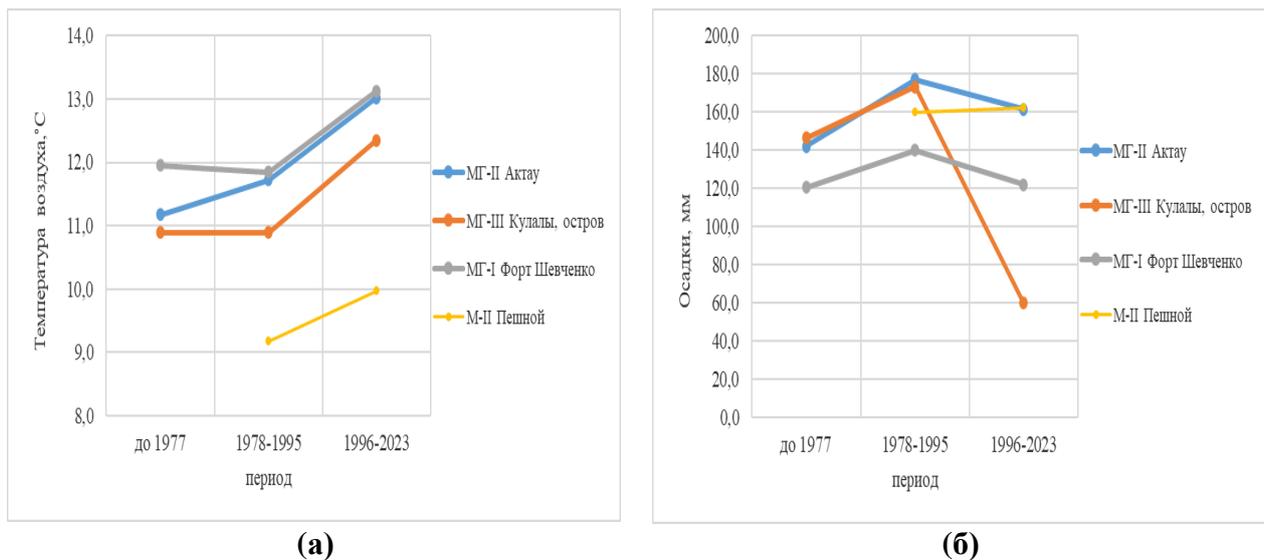
Комплексный анализ изменений уровня Каспийского моря и метеорологических параметров в казахстанском секторе Каспийского моря проводился с учетом выделенных характерных этапов в колебаниях уровня Каспийского моря, что позволило провести сопоставительный анализ изменения гидрологических и метеорологических параметров за характерные периоды: до 1977 года (период спада), 1978-1995 гг. (период подъема) и 1996-2023 гг. (период спада).

За указанные характерные фазы колебаний уровня Каспийского моря были осреднены метеорологические данные по температуре воздуха и осадкам по МГ-II Актау, МГ-III Кулалы, остров, МГ-I Форт Шевченко и М-II Пешной (таблица 1).

**Таблица 1.** Метеорологические характеристики, осредненные за характерные периоды колебаний уровня Каспийского моря

период	МГ-II Актау		МГ-III Кулалы, остров		МГ-I Форт Шевченко		М-II Пешной	
	Температура воздуха, °С	Осадки, мм						
до 1977	11,2	142	10,9	146	12,0	121		
1978-1995	11,7	177	10,9	173	11,8	140	9,2	160
1996-2023	13,0	162	12,4	60	13,1	122	10,0	162

По данным таблицы 1 были построены графики, показанные на рисунке 6 и отражающие тренды изменения метеорологических характеристик в характерные периоды колебаний уровня Каспийского моря.



**Рисунок 6.** Тренды изменения метеорологических параметров в прикаспийском регионе Казахстана в характерные периоды колебаний уровня Каспийского моря (а) температура воздуха, (б) атмосферные осадки

### *3.4. Анализ изменений температуры воздуха в характерные периоды колебаний уровня Каспийского моря*

Анализ многолетней динамики температуры воздуха за период 1960–2023 гг. по данным метеорологических станций северо-восточной части Каспийского региона выявил общую тенденцию к потеплению, особенно выраженную после середины 1990-х годов. При этом интенсивность и характер температурных изменений различаются по станциям.

В период 1960–1977 гг. в МГ-II Актау температурный режим отличался относительной стабильностью. Переход ко второму периоду (1978–1995 гг.) сопровождался ростом средней температуры воздуха на 0,5 °С. В третьем периоде (1996–2023 гг.) зафиксировано резкое усиление потепления - увеличение температуры на 1,3 °С. Основная фаза роста температуры приходится на время после середины 1990-х годов, что соответствует глобальным климатическим тенденциям. В целом район Актау характеризуется устойчивым и ускоряющимся ростом температуры воздуха.

В первые два периода (1960–1977 и 1978–1995 гг.) в МГ-III Кулалы, острове температура воздуха оставалась практически неизменной, что указывает на относительное климатическое равновесие. Однако после 1996 года наблюдается резкий скачок температуры на 1,5 °С, свидетельствующий о выраженном усилении потепления в последние десятилетия.

Для МГ-I Форт-Шевченко во втором периоде отмечено незначительное снижение средней температуры воздуха (-0,2 °С). Тем не менее в третьем периоде фиксируется интенсивный рост температуры на 1,4 °С. Таким образом, как и на других станциях, после 1996 года наблюдается ускорение потепления.

В районе станции МГ-II Пешной наиболее заметные изменения температуры воздуха приходятся на третий период, когда зафиксирован рост температуры на 0,8 °С. Несмотря на меньшую интенсивность потепления по сравнению с другими станциями, общая тенденция к повышению температуры сохраняется.

В целом по всем станциям выявляется единая закономерность: относительная стабильность значений температуры воздуха в период с 1960 по 1995 годы и резкое ускорение потепления после 1996 года, что способствует росту испарения с водной поверхности и, в конечном счете, способствует снижению уровня моря.

### *3.5. Анализ изменений атмосферных осадков в характерные периоды колебаний уровня Каспийского моря*

Динамика атмосферных осадков в регионе отличается выраженной пространственной неоднородностью и менее однозначными тенденциями их изменений по сравнению с тенденциями изменений температур воздуха.

По данным всех пунктов наблюдений, принятых к рассмотрению, в период повышения уровня моря наблюдался тренд, направленный в сторону повышения количества годовых сумм осадков.

Напротив, в период снижения уровня моря, продолжающегося и в настоящее время, отмечается снижение количества годовых сумм осадков, за исключением данных по МГ-II Пешной, где практически не отмечается тренда в колебаниях годовых сумм осадков ни в сторону повышения, ни в сторону понижения.

Сравнение данных результатов анализа по четырем морским станциям показывает высокую межгодовую изменчивость количества осадков. То есть в некоторые годы количество осадков резко возрастает, в другие годы – количество осадков может значительно и резко уменьшаться. На морских станциях МГ-I Форт Шевченко и М-II Пешной наблюдается устойчивое снижение годовых сумм осадков за современный период. В то время как на станции МГ-II Актау наблюдается небольшой положительный тренд, который показывает увеличение количества осадков за исследуемый период наблюдений. Особенно ярко

наблюдается отрицательная тенденция на МГ-III Кулалы, остров, на острове объем осадков остается очень низким и продолжает уменьшаться на протяжении всего периода наблюдений.

Эти различия свидетельствуют о том, что климатические условия в казахстанском секторе Каспийского моря очень неоднородны. Также полученные результаты указывают на связь между фазами колебаний уровня моря (фазами подъема и спада) и режимом осадков в регионе: период повышения уровня моря (1978-1995 гг.) сопровождаются увеличением годовых сумм осадков, тогда как во время фазы спада уровня моря наблюдается уменьшение количества осадков. Исключением в данном случае является морская станция МГ-II Пешной, где тренды остаются почти неизменными.

Многолетний анализ осадков в прибрежной зоне казахстанского сектора Каспийского моря показал, что их распределение сильно различается как в пространственном, так и во временном разрезе. В целом регион характеризуется невысокими годовыми суммами осадков, что особенно заметно в Мангыстауской области, где климатические условия создают ограничения для водных ресурсов и влияют на гидрологический режим.

#### **4. Обсуждение**

Проведенный комплексный анализ многолетних колебаний температуры воздуха, атмосферных осадков и уровня Каспийского моря в казахстанском секторе позволяет отметить устойчивые и взаимосвязанные изменения этих параметров природной среды.

В частности, полученные результаты свидетельствуют о том, что современные колебания уровня Каспийского моря формируются на фоне четко выраженной трансформации климатических условий прибрежной зоны, в особенности в последние три десятилетия.

Наиболее однозначным и пространственно согласованным фактором, влияющим на колебания уровня Каспийского моря, является температура воздуха. Для всех включенных в рассмотрение метеорологических станций характерен общий тренд изменения осредненных значений температуры воздуха за характерные фазы колебаний уровня моря, выражающийся в относительной стабильности их значений в период с 1960 по 1995 годы и заметное повышение температурного тренда, начиная с 1996 года. Именно это повышение осредненных значений температуры воздуха совпадает с началом длительного и существенного падения уровня Каспия. Увеличение среднегодовых температур воздуха на 0,8–1,5 °C в этот период, зафиксированное на всех станциях, привело к усилению испарения с водной поверхности моря и прилегающих мелководных территорий. С учётом огромной площади Каспийского моря даже умеренное увеличение испарения с морской поверхности оказало существенное влияние на его водный баланс. Таким образом, проведенный анализ изменения температуры воздуха в регионе дает основания полагать, что рост температуры воздуха в последние 30 лет стал одним из ключевых факторов падения уровня Каспийского моря.

В изменениях количества годовых осадков, осредненных за характерные периоды колебаний уровня Каспия, также отмечается общий тренд. В частности, до середины 1990-х годов наблюдалось увеличение количества осадков, что совпало с фазой подъема уровня Каспийского моря в 1978–1995 гг. После 1996 года на всех принятых в расчет пунктах наблюдений, за исключением МГ-II Пешной, отмечалось сокращение осадков, что способствовало снижению уровня моря.

Сопоставление климатических параметров с этапами колебаний уровня Каспийского моря позволяет сделать важный вывод: период подъема уровня (1978–1995 гг.) формировался при относительно умеренных температурах и при увеличении количества осадков. Напротив, современный этап падения уровня (с 1996 года) характеризуется сочетанием потепления климата и отсутствия устойчивого роста осадков, а в отдельных районах - их резким сокращением. Это сочетание факторов создаёт условия для преобладания расходной части водного баланса над приходной, что и отражается в устойчивом снижении уровня Каспийского моря.

Таким образом, результаты проведенных исследований подтверждают то, что в современном снижении уровня Каспийского моря большую роль играют климатические факторы, в особенности наблюдающееся повышение температуры воздуха.

## **5. Заключение**

1. В колебаниях температуры воздуха в казахстанском секторе Каспийского моря за период с 1959 по 2023 гг. отмечается устойчивая тенденция к повышению среднегодовой температуры воздуха. При этом рост температуры воздуха особенно заметен в последние несколько десятилетий и колеблется в пределах от 0,8 до 1,5 °С.

2. В динамике атмосферных осадков в последние несколько десятилетий на большинстве метеостанций отмечается сокращение осадков, что особенно ярко прослеживается по данным метеостанции, расположенной на акватории Каспия на острове Кулалы.

3. Многолетние колебания уровня Каспийского моря хорошо соотносятся с изменениями климатических характеристик: период подъема уровня моря (1978–1995 гг.) совпадает с более благоприятным сочетанием температурного режима и осадков, тогда как современный этап падения уровня (с 1996 года) продолжается на фоне ускоренного потепления климата и снижением количества осадков.

5. Рост температуры воздуха является одним из ключевых факторов современного снижения уровня Каспийского моря, поскольку приводит к увеличению испарения с водной поверхности Каспия.

6. Впервые проведен анализ фаз подъема и спада уровня Каспийского моря с сопоставлением их с аналогичными временными периодами метеорологических параметров, таких, как температура воздуха и атмосферные осадки, для казахстанского сектора Каспийского моря. Данный метод анализа позволил не только определить взаимосвязи между гидрологическим режимом моря и региональными климатическими факторами, но также и дал возможность оценить влияние многолетних колебаний температуры воздуха и осадков на динамику уровня воды. Ранее подобные сравнительные исследования для казахстанского сектора Каспийского моря отсутствовали или ограничивались, или рассматривались отдельными показателями, что делает текущую работу уникальной в контексте изучения связей между климатическими изменениями и колебаниями уровня моря.

7. Полученные в ходе проведенных исследований результаты подтверждают необходимость учёта региональных климатических трендов при разработке прогнозов колебаний уровня Каспийского моря, а также подтверждают актуальность выработки мер по адаптации хозяйственного комплекса региона и прибрежных экосистем к продолжающемуся падению уровня Каспийского моря.

**6. Вспомогательный материал:** Нет вспомогательного материала.

**7. Вклады авторов:** Данное исследование выполнено одним автором.

## **8. Информация об авторе**

Ахметов, Серик – Председатель правления НАО «Казахский научно-исследовательский институт Каспийского моря», Актау, Казахстан, 130000; [serik.akhmetovkz@gmail.com](mailto:serik.akhmetovkz@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0007-0867-7429>

## **9. Финансирование:**

Публикация статьи финансируется НАО «Казахский научно-исследовательский институт Каспийского моря».

**10. Благодарности:** Автор выражает признательность Елбасиевой Б.Б. за техническую помощь.

**11. Конфликты интересов:** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

## 12. Список литературы

1. Arpe, K., Prange, M., Koriche, S., & Nandini-Weiss, S. (2021). Impacts of variations in Caspian Sea surface area on catchment-scale and large-scale climate. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.923110>
2. Crétaux, J.-F., Letolle, R., & Bergé-Nguyen, M. (2018). History of Caspian Sea level variations. *Surveys in Geophysics*, 39, 933–955. <https://doi.org/10.1007/s10712-018-9473-3>
3. Ginzburg, A. I., Kostianoy, A. G., & Sheremet, N. A. (2019). Climate variability and circulation of the Caspian Sea. *Oceanology*, 59(6), 829–842. <https://doi.org/10.1134/S000143701906010X>
4. Kholoptsev, A. V., & Naurozbayeva, Z. K. (2023). Atmospheric blockings over the Caspian Sea region and their influence on ice regime. *Ice and Snow*, 64(1), 121–132. <https://ice-snow.ru/index.php/ice-snow/article/view/928>
5. Lahijani, H., Leroy, S. A. G., Arpe, K., & Crétaux, J. F. (2023). Caspian Sea level changes during instrumental period, its impact and forecast: A review. *Earth-Science Reviews*, 241, 104428. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2023.104428>
6. Panin, A. V., Mamedov, R. M., & Aliev, F. A. (2021). Climate-driven fluctuations of the Caspian Sea level: Observational evidence and implications. *Journal of Hydrology*. <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-hydrology>
7. Prange, M., Arpe, K., & Rüpke, L. (2020). The other side of sea level change: Impacts on the Caspian Sea. *Communications Earth & Environment*, 1, 75. <https://doi.org/10.1038/s43247-020-00075-6>
8. Rodionov, S. N. (2016). Cyclicity of Caspian Sea level fluctuations. *Geophysical Research Letters*, 43, 11394–11401. <https://doi.org/10.1002/2016GL070528>
9. Safarov, E., Bayramov, E., Safarov, S., Neafie, J., & Hedjazi, A. (2025). Impact of changes in the wind regime on the Caspian Sea level fluctuation and its relationship with SOI and NAO. *Scientific Reports*, 15, 36380. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-36380-0>
10. Salimi, M., Rahimi, A., & Hosseini, S. (2022). Regional climate influence on Caspian Sea water levels: A multi-decadal perspective. *Environmental Monitoring and Assessment*. <https://link.springer.com/journal/10661>
11. Samant, R., & Prange, M. (2024). Climate-driven 21st-century Caspian Sea level decline estimated from CMIP6 projections. *Communications Earth & Environment*, 4, 319. <https://doi.org/10.1038/s43247-023-01017-8>
12. Serykh, I., Krasheninnikova, S., Safarov, S., Safarov, E., Oskouei, E. A., Gorbunova, T., Gorbunov, R., & Falamarzi, Y. (2025). Near-surface temperature climate change in the Caspian region: A study using meteorological station data, reanalyses, and CMIP6 models. *Climate*, 13(10), 201. <https://doi.org/10.3390/cli13100201>
13. Zavialov, P. O., Kostianoy, A. G., Sapozhnikov, P. V., Khan, V. M., Kurbaniyazov, N. K., & Kurbaniyazov, A. K. (2024). First long-term measurements on Kazakhstan shelf of the Caspian Sea reveal alternating currents and energetic temperature variability. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(11), 1957. <https://doi.org/10.3390/jmse12111957>
14. Ivkina, N. I. (2016). Changes in the inflow of water into the Caspian Sea due to anthropogenic impact and climate change (Izmenenie pritoka vody v Kaspiyskoe more v rezul'tate antropogennogo vozdeystviya i izmeneniya klimata in Russian). *Hydrometeorology and Ecology (Gidrometeorologiya i ekologiya)*, (3). <https://cyberleninka.ru/article/n/izmenenie-pritoka-vody-v-kaspiyskoe-more>
15. Ivkina, N. I. (2023). Changes in the main components of the water balance of the Caspian Sea under the influence of climate (Izmeneniya osnovnykh sostavlyayushchikh vodnogo balansa Kaspiyskogo morya pod vliyaniem klimata in Russian). *Hydrometeorology and Ecology*

- (*Gidrometeorologiya i ekologiya*), (4), 16–28. <https://cyberleninka.ru/article/n/izmeneniya-osnovnyh-sostavlyayuschih-vodnogo-balansa-kaspiyskogo-morya>
16. Ivkina, N. I., & Galaeva, A. V. (2021). Assessment of Caspian Sea level fluctuations under the influence of climate change until 2050 (Otsenka kolebaniy urovnya Kaspiyskogo morya pod vliyaniem izmeneniya klimata do 2050 g in Russian). *Hydrometeorology and Ecology (Gidrometeorologiya i ekologiya)*, 1(100). <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-kolebaniy-urovnya-kaspiyskogo-morya>
  17. Ivkina, N. I., & Naurozabayeva, Zh. K. (2017). Impact of changes in climatic conditions on the ice regime of the Caspian Sea (Vliyanie izmeneniya klimaticheskikh usloviy na ledovyy rezhim Kaspiyskogo moray in Russian). *Central Asian Journal of Water Research (Tsentral'noaziatskiy zhurnal issledovaniy vody)*, 3(2), 15–29. <https://water-ca.org/article/impact-of-climate-change-on-the-ice-regime-of-the-caspian-sea>
  18. Ivkina, N. I., Yeltay, A. G., Klove, B., Saduokasova, M. T., & Shenberger, I. V. (2020). Level fluctuations and their impact on oil pollution in the Kazakh sector of the Caspian Sea (Kolebaniya urovnya i ikh vliyanie na neftyanoe zagryaznenie kazakhstanskogo sektora Kaspiyskogo moray in Russian). *Hydrometeorology and Ecology (Gidrometeorologiya i ekologiya)*, (2). <https://cyberleninka.ru/article/n/kolebaniya-urovnya-i-ih-vliyanie-na-neftyanoe-zagryaznenie>
  19. Koriche, S. A., Krashenninnikova, S. N., & Arpe, K. (2022). Drivers of Caspian Sea level variation: relative impacts of hydroclimatic change and atmospheric circulation. *Journal of Hydrology*, 610, 128019. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128019>
  20. Leroy, S. A. G., Arpe, K., & Crétaux, J.-F. (2022). Caspian Sea levels over the last 2200 years: long-term dynamics and climate linkages. *Journal of Marine Systems*, 230, 103685. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2022.103685>
  21. Lahijani, H. A., Soltani, M., & Hassanzadeh, Y. (2023). Tracking Caspian Sea level impacts on coastal Ramsar sites. *Science of the Total Environment*, 857, 159140. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159140>
  22. Ostrovskaya, E. V., Gavrilova, E. V., & Tatarnikov, V. O. (2023). Hydrometeorological parameters of the marine environment in the Russian sector of the Caspian Sea under changing climate (Hydrometeorologicheskie parametry morskoy sredy v Rossiyskom sektore Kaspiyskogo morya pri izmenyayushchemsya klimatu in Russian). *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series (Izvestiya Rossiyskoy Akademii Nauk. Seriya geograficheskaya)*, 87(6), 914–929. <https://doi.org/10.31857/S2587556623060109>
  23. Court, R., Lattuada, M., Shumeyko, N., Baimukanov, M., Eybatov, T., Kaidarova A., Mamedov, E. V., Rustamov, E., Tasmagambetova, A. (2025). Rapid decline of Caspian Sea level threatens ecosystem integrity, biodiversity protection, and human infrastructure. *Communications Earth & Environment*, 6, 261. <https://doi.org/10.1038/s43247-025-0061-2>
  24. Yanina, T. A., Sorokin, V. M., & Hoshrawan, G. (2020). Evolution of the natural environment of the Caspian Sea under global climatic changes. *Oceanological Research*, 42(5), 449–461. [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2019.47\(5\).12](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2019.47(5).12)
  25. Bezrodnykh, Y. P., Yanina, T. A., Sorokin, V. M., & Romanyuk, B. F. (2020). The Northern Caspian Sea: Consequences of climate change for level fluctuations during the Holocene. *Quaternary International*, 538, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.05.030>
  26. Kaplin, P. A., & Selivanov, A. O. (2022). Northern Caspian Sea levels and ice regime change during current climate warming. In: Karev, V. I. (Ed.), *Physical and Mathematical Modeling of Earth and Environment Processes* (pp. 337–350). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-99504-1\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-030-99504-1_15)
  27. Molavi-Arabshahi, M., Khademi, H. (2023). Caspian Sea level changes during instrumental period: Climate impacts and future trends. *Environmental Research*, 216, 114644. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114644>

28. Leroy, S. A. G., Crétaux, J.-F., & Arpe, K. (2020). Sea level trend and climate variables in the Caspian Sea: Satellite altimetry and hydrologic implications. *Journal of Coastal Research*, 36(1), 45–57. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-19-00045.1>
29. Zonn, I. S., Kostianoy, A. G., Kosarev, A. N., & Glantz, M. (Eds.). (2010). *The Caspian Sea Encyclopedia*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-11524-0>

## **Қазақстан секторындағы Каспий теңізі жағалау аймағының су деңгейі ауытқуларына және экожүйенің өзгеруіне әсер ететін метеорологиялық факторлар**

**Серик Ахметов**

**Аңдатпа.** Мақалада Қазақстанның Каспий теңізі секторындағы жағалаулық аймақтағы ауа температурасы мен жауын-шашынның көпжылдық өзгерістері талданады. Негізгі назар климаттық факторлардың өзгеруі Каспий теңізінің деңгейінің ауытқуларына әсерін бағалауға аударылады, бұл соңғы бірнеше онжылдықта теңіз жағалауы экожүйесіне теріс әсерін тигізуде.

Осы зерттеуде теңіз деңгейінің көтерілу және төмендеуі фазалары талданып, оларды ауа температурасы мен атмосфералық жауын-шашын сияқты метеорологиялық параметрлердің ұқсас уақыт кезеңдерімен салыстыру жүргізілді. Бұл талдау әдісі теңіз гидрологиялық режимі мен аймақтық климаттық факторлар арасындағы өзара байланыстарды анықтауға және ауа температурасының және жауын-шашынның көпжылдық динамикасының су деңгейінің динамикасына әсерін бағалауға мүмкіндік береді. Аймақтың климаттық ерекшелігін анықтайтын негізгі факторлар анықталып, олардың экологияға және жағалаулық аймақты шаруашылық пайдалануына әсері талқыланады. Зерттеуде көрсетілгендей, өткен ғасырдың ортасынан бастап Қазақстанның Каспий теңізі секторындағы жағалау аймағында ауа температурасының орташа жылдық көрсеткіштерінің жоғарылау тенденциясы қалыптасқан, бұл зерттелген бақылау нүктелерінің көпшілігінде жауын-шашын мөлшерінің азаюымен қатар жүрді. Температура режиміндегі өзгерістер, жауын-шашын режимі және Каспий теңізі деңгейінің көпжылдық тербелістері арасындағы байланыс анықталды. Қазіргі теңіз деңгейінің төмендеуі кезеңі температураның жылдам өзгеруін ескеретін жағдайда дамып келе жатқаны атап өтілген. Алынған нәтижелер Каспий теңізі деңгейінің болашақтағы өзгерістерін болжау және бейімделу шараларын әзірлеу кезінде аймақтық климаттық ерекшеліктерді ескеруге маңызды шара екенін көрсетеді.

**Түйін сөздер:** Метеорологиялық сипаттамалар; жағалау аймағы; климаттық трендтер; су балансы; деңгейдің ауытқулары; ұзақ мерзімді бақылаулар; климаттық кезеңдер; гидрометеорологиялық режим; теңіз деңгейінің фондық ауытқулары; экожүйе.

## **Meteorological Characteristics as Factors Influencing Sea Level Fluctuations and Changes in the Coastal Zone Ecosystem of the Kazakh Sector of the Caspian Sea**

**Serik Akhmetov**

**Abstract.** The article analyzes long-term changes in air temperature and precipitation in the coastal zone of the Kazakh sector of the Caspian Sea. Particular attention is given to the assessment of the impact of climatic factor variability on fluctuations in the Caspian Sea level, which over the past several decades have had a negative effect on the condition of coastal zone ecosystems.

In this study, an analysis of the phases of sea level rise and fall was conducted, comparing them with corresponding time periods of meteorological parameters such as air temperature and precipitation. This method of analysis allows for the determination of relationships between the hydrological regime of the sea and regional climatic factors, as well as the assessment of the impact of long-term fluctuations in air temperature and precipitation dynamics on water level dynamics. Key factors determining the climatic characteristics of the region are identified, and their influence on the ecology and economic use of the coastal zone is discussed. The study shows that since the mid-20th century, a trend of increasing annual average air temperature has developed in the coastal zone of the Kazakhstan sector of the Caspian Sea, accompanied by a decrease in precipitation at most of the observation points studied. A connection has been established between changes in the temperature regime, precipitation patterns, and long-term fluctuations in the Caspian Sea level. It is noted that the current phase of sea level decline is occurring under conditions of accelerated climate warming. The results emphasize the importance of taking regional climatic characteristics into account when forecasting further changes in the Caspian Sea level and developing adaptation measures.

**Keywords:** Meteorological characteristics; coastal zone; climate trends; water balance; level fluctuations; long-term observations; climatic periods; hydrometeorological regime; background sea level fluctuations; ecosystem.