

МРНТИ 87.27.02

<https://doi.org/10.26577/JGEM812202612>

С.А. Османова\*, Лию Зихуан

Бакинский Государственный Университет, Баку, Азербайджан

\*e-mail: osmanova-sona@mail.ru

## ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ЭКОСИСТЕМЫ ГЫЗЫЛАГАЧСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА: ПРОГНОЗЫ И АДАПТАЦИЯ

Основная цель исследования – комплексный анализ деградационных процессов в экосистемах Гызылагачского национального парка (Рамсарское угодье № 168) под воздействием регионального потепления и регрессии Каспийского моря. Исследование базируется на синтезе прогностических сценариев IPCC (модели RCP4.5 и RCP8.5) с данными мультиспектрального дистанционного зондирования Земли. Эмпирическую базу составили результаты полевых экспедиций (включая верификацию состояния гнездовий в 2025 году), направленных на оценку трансформации водно-болотных комплексов в условиях падения уровня моря. Выявлена устойчивая тенденция к критической аридизации и вторичному засолению ландшафтов, что спровоцировало глубокую фрагментацию гидрофильных биотопов. Установлено, что деградация кормовой базы и утрата экологической связности лагунных систем ведут к дестабилизации миграционных стратегий кудрявого пеликана (*Pelecanus crispus*) и розового фламинго (*Phoenicopterus roseus*). Доказано, что текущая скорость экосистемных трансформаций делает традиционные пассивные меры охраны недостаточными. Также разработан и обоснован протокол адаптивного управления территорией, предлагающий активную коррекцию водного режима через модернизацию коллекторно-дренажной сети. Впервые предложена концепция динамических зон мониторинга, позволяющая оперативно реагировать на изменение береговой линии и сохранять функцию парка как ключевого орнитологического рефугиума Каспийского бассейна в условиях климатического стресса.

**Ключевые слова:** Гызылагачский национальный парк, регрессия Каспийского моря, климатическая адаптация, орнитофауна, водно-болотные угодья.

S.A.Osmanova\*, Liu Zixuan

Baku State University, Baku, Azerbaijan

\*e-mail: osmanova-sona@mail.ru

## Impact of climate change on the ecosystems of Gizilagaj National Park: projections and adaptation

The primary objective of this study is a comprehensive analysis of degradation processes within the ecosystems of the Gizilagaj National Park (Ramsar Site No. 168) under the combined influence of regional warming and the regression of the Caspian Sea. The research is based on a synthesis of IPCC predictive scenarios (RCP4.5 and RCP8.5 models) with multi-spectral Earth remote sensing data. The empirical framework comprises results from field expeditions (including the 2025 verification of nesting site conditions) aimed at assessing the transformation of wetland complexes amidst falling sea levels. A steady trend toward critical aridization and secondary salinization of landscapes was identified, triggering deep fragmentation of hydrophilic biotopes. The study establishes that the degradation of the forage base and the loss of ecological connectivity within lagoon systems lead to the destabilization of migration strategies for the Dalmatian Pelican (*Pelecanus crispus*) and the Greater Flamingo (*Phoenicopterus roseus*). It is demonstrated that the current rate of ecosystem transformation renders traditional passive conservation measures insufficient. Furthermore, a protocol for adaptive management of the territory was developed and justified, proposing active correction of the water regime through the modernization of the collector-drainage network. For the first time, a concept of dynamic monitoring zones is proposed, allowing for rapid response to coastline shifts and the preservation of the park's function as a key ornithological refugium of the Caspian Basin under climate stress.

**Keywords:** Gizilagaj National Park, Caspian Sea regression, climate adaptation, avifauna, wetlands.

С.А. Османова\*, Лиу Зихуан

Баку Мемлекеттік Университеті, Баку, Әзірбайжан

\*e-mail: osmanova-sona@mail.ru

### Гызылагач ұлттық паркінің экожүйелеріне климаттың өзгеруінің әсері: болжамдар және бейімделу

Зерттеудің негізгі мақсаты – аймақтық жылыну мен Каспий теңізі регрессиясының әсерінен Гызылагач ұлттық паркі (№ 168 Рамсар алқабы) экожүйелеріндегі деградациялық процестерге кешенді талдау жасау. Зерттеу жұмысы IPCC-тің болжамды сценарийлерін (RCP4.5 және RCP8.5 модельдері) Жерді мультиспектрлі қашықтықтан зондау деректерімен синтездеуге негізделген. Эмпирикалық базаны теңіз деңгейінің төмендеуі жағдайындағы сулы-батпақты кешендердің трансформациясын бағалауға бағытталған далалық экспедициялардың нәтижелері (соның ішінде 2025 жылғы ұя салу орындарының жай-күйін тексеру) құрады. Ландшафттардың критикалық аридизацияға және қайталама тұздануға бейімділігінің тұрақты тенденциясы анықталды, бұл гидрофильді биотоптардың терең фрагментациясына әкеп соқтырды. Қоректік базаның деградациясы мен лагуналық жүйелердің экологиялық байланысының үзілуі бұйра бірқазан (*Pelecanus crispus*) мен қызғылт фламингоның (*Phoenicopterus roseus*) көші-қон стратегияларының тұрақсыздануына себеп болатыны дәлелденді. Экожүйелік трансформациялардың қазіргі қарқыны дәстүрлі пассивті қорғау шараларының тиімсіздігін көрсетті. Сонымен қатар коллекторлық-дренаждық желіні жаңғырту арқылы су режимін белсенді түзетуді қарастыратын аумақты бейімделген басқару хаттамасы әзірленіп, негізделді. Алғаш рет климаттық стресс жағдайында жағалау сызығының өзгеруіне жедел әрекет етуге және парктің Каспий бассейніндегі негізгі орнитологиялық рефугиум ретіндегі функциясын сақтауға мүмкіндік беретін динамикалық мониторинг аймақтарының тұжырымдамасы ұсынылды.

**Түйін сөздер:** Гызылагач ұлттық паркі, Каспий теңізінің регрессиясы, климаттық бейімделу, орнитофауна, сулы-батпақты алқаптар.

## Введение

Гызылагачский национальный парк – Рамсарское угодье №168, выполняющее роль важнейшего биогеографического узла Западной Палеарктики для миграции птиц (Ramsar Convention Secretariat, 2016; Smith et al., 2018). Актуальность исследования обусловлена фазой экологического форс-мажора: к началу 2025 года стремительная регрессия Каспийского моря достигла критической отметки -29,11 м (ICWC, 2023). Это, в сочетании с падением объемов регионального речного стока и ростом температур (Азгидромет, 2023; ВМО, 2024), катализирует резкую аридизацию и экологический сдвиг на сопредельных полузасушливых территориях (Гасанов, 2022).

Существующие классические работы (Алиев и др., 2019; Гасанова, 2021) преимущественно сфокусированы на общем описании биоты и температурных аномалиях. В то же время отсутствуют динамические модели, учитывающие текущую скорость обмеления мелководий, деградацию русел в нижнем течении Куры (Джамалов, Рустамова, 2021), а также сопряженную гипергалинную трансформацию лагун и замещение гидрофильной флоры галофитными солончаковыми комплексами (Гараева, 2020; Мамедов и др., 2020). Реальные деструктивные

процессы опережают пессимистичные прогнозы (Gurbanov & Gasanov, 2023; Zöckler & Delany, 2019), что требует немедленного пересмотра моделей мониторинга.

Объектом исследования являются водно-болотные и прибрежные экосистемы Гызылагачского национального парка. Предметом – пространственно-временные механизмы их трансформации под воздействием макроклиматических и гидрологических факторов. Цель исследования – научное обоснование стратегии адаптивного управления ГНП на основе кросс-аналитики метеорологических трендов и данных дистанционного зондирования Земли (AzFA, 2023; Azgizspace, 2023) за цикл 2024-2025 гг. Для достижения цели поставлены задачи: оценить масштабы трансформации береговой линии по спутниковым данным; выявить тренды гидрологического режима лагун; спрогнозировать устойчивость экосистем орнитофауны (BirdLife International, 2022; Ornithological Society of Azerbaijan, 2023) к климатическому стрессу.

Научная новизна заключается в интеграции прогностических сценариев IPCC (RCP 4.5 и 8.5; см. IPCC, 2021) с оперативными мультиспектральными данными ГИС для прибрежных зон Южного Каспия (UNEP, 2022). Практическая значимость определяется разработкой приклад-

ных рекомендаций для перехода менеджмента ГНП от пассивной охраны к долгосрочному адаптивному планированию (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

### Обзор литературы

В современной научной литературе наблюдается парадигмальный сдвиг в изучении Гызылагачского национального парка: акцент смещается с инвентаризации биологического разнообразия на оценку системной уязвимости перед лицом регрессии Каспийского моря. Согласно оценкам экспертов IPCC (2021) и WMO (2024), юго-восточный сектор Каспия признан одной из «горячих точек» глобальной климатической нестабильности, где интенсивность аридизации ландшафтов существенно опережает среднемировые тренды.

Процессы потепления в Южном Каспии характеризуются аномально высокой динамикой. За последние десятилетия рост среднегодовой температуры составил 1,5-2,0°C (Азгидромет, 2023), что не только коррелирует с жесткими прогностическими сценариями RCP4.5 и RCP8.5, но и свидетельствует о вхождении экосистем Ленкоранской низменности в фазу критического теплового стресса. Гасанова (2021) и Алиев (2019) доказывают, что сокращение годовой суммы осадков на 10-20% в сочетании с экстремальной испаряемостью радикально трансформирует водный баланс низинных болот. По данным Azgizspace (2023) и ICWC (2023), деградация данных зон усугубляется «камышовой экспансией» (*Phragmites expansion*) и прогрессирующим засолением почв, что снижает эффективность традиционных мер охраны, предусмотренных Рамсарской конвенцией (Ramsar Convention Secretariat, 2016).

Вопрос колебаний уровня моря перешел из теоретической дискуссии в плоскость кризисного мониторинга. Если в исследованиях начала 2020-х годов фиксировалось понижение уровня на 6-10 см в десятилетие (ICWC, 2023), то фактические данные к 2025 году (отметка -29,11 м) указывают на резкое ускорение этого процесса. Zöckler & Delany (2019) ранее прогнозировали риск утраты мелководных зон, однако текущая трансформация границы «суша-вода» (Gurbanov & Gasanov, 2023) превосходит данные ожидания по масштабам фрагментации биотопов. Происходит не только изменение геоморфологической структуры береговой линии, но и разрушение

экологической связности дельтовых систем, выполняющих роль биологических фильтров.

Гызылагач как стратегический узел Восточно-Африканско-Евразийского миграционного пути (BirdLife International, 2022) сегодня сталкивается с явлением фенологического десинхрона. Мониторинговые отчеты AzFA (2023) и Орнитологического общества Азербайджана (2023) фиксируют критическое снижение численности глобально угрожаемых видов, таких как кудрявый пеликан (*Pelecanus crispus*) и краснозобая казарка (*Branta ruficollis*). Ключевая проблема заключается в формировании «трофического разрыва» – нарушении синхронности между пиками сезонных миграций и периодами доступности кормовых ресурсов. Это ставит под угрозу выполнение Азербайджаном международных обязательств по сохранению мигрирующих видов (Smith et al., 2018).

Анализ существующих публикаций выявляет значительный разрыв между теоретическим моделированием адаптации и реальной скоростью деградации мелководий. Большинство работ носит ретроспективный характер, в то время как текущая ситуация требует перехода от пассивной фиксации изменений к протоколам адаптивного управления (WMO, 2024; ICWC, 2023). Необходимо междисциплинарное объединение методов гидрологии, высокоточного зондирования и прикладной орнитологии для разработки оперативных мер по сохранению экосистемного рефугиума.

### Методология

Информационную базу климатического анализа составили валидированные массивы среднемесячных температур воздуха и объемов атмосферных осадков за многолетний период, агрегированные из официальных архивов Азгидромета (2023) и Всемирной метеорологической организации (WMO, 2024). Для долгосрочного прогнозирования экосистемных сдвигов до конца XXI века использован ансамбль климатических моделей CMIP6 (моделирование шестой фазы) в рамках сценариев SSP2-4.5 (умеренно-стабилизационный сценарий) и SSP5-8.5 (высокоэмиссионный, экстремальный сценарий) в соответствии с методологическими рекомендациями IPCC (2021). Статистическая обработка временных рядов проводилась методами непараметрического критерия Манна-Кендалла для выявления значимости климатических трендов и

оценки Тейла-Сена для определения их наклона (Гасанов, 2022).

Мониторинг пространственно-временной трансформации береговой линии и динамики зеркала водной поверхности Большого и Малого Гызылагачских заливов осуществлялся на основе обработки мультиспектральных спутниковых снимков Landsat 8/9 (OLI, разрешение 30 м) и Sentinel-2 (MSI, разрешение 10 м) за репрезентативный цикл 2024-2025 гг. Оценка динамики акватории проводилась по следующему алгоритму: Радиометрик и атмосферная коррекция снимков в программном пакете ArcGIS / QGIS (Azgizspace, 2023). Расчет модифицированного нормализованного разностного водного индекса (MNDWI) для прецизионного выделения открытых водных поверхностей на фоне солончаковой растительности. Бинаризация полученных растровых карт по пороговым значениям индекса для вычисления точной площади обводнения.

Динамика высыхания лагун сопоставлялась с актуальными темпами регрессии Каспийского моря, зафиксированными в отчетах Международной координационной водохозяйственной комиссии (ICWC, 2023). Оценка водного баланса территории проводилась с учетом объемов антропогенного притока пресной воды через систему коллекторно-дренажных каналов в нижнем течении реки Куры (Джамалов, Рустамова, 2021). При вычислении эвапотранспирации (испаряемости) использовалось уравнение Пенмана-Монтейса, скорректированное на коэффициенты экстремальной аридности последних лет (Gurbanov & Gasanov, 2023).

Для верификации данных дистанционного зондирования и оценки климатического воздействия на биоту была проведена серия полевых изысканий, включая контрольную полевую фазу в мае 2025 года (AzFA, 2023). Методология натурных работ включала:

Орнитологический учет: Прямой и точечный учет гнездовых колоний и мигрирующих околоводных птиц на трансектах в ключевых орнитологических точках (IBA), согласованный со стандартами глобальных репозиторий (BirdLife International, 2022) и локальными отчетами Орнитологического общества Азербайджана (2023). Особое внимание уделялось глобально угрожаемым видам: розовому пеликану (*Pelecanus onocrotalus*) и краснозобой казарке (*Branta ruficollis*) (Smith et al., 2018; Wetlands International, 2020).

Геоботаническое картирование: Оценка степени замещения типичных гидрофильных макрофитов (тростниковых и рогозовых ассоциаций) галофитными солончаковыми комплексами выполнялась по стандартным методикам на пробных площадках размером 10×10 м (Гареева, 2020; Мамедов и др., 2020).

Почвенный экспресс-анализ: На заложенных профилях проводился отбор проб для определения степени вторичного засоления почв прибрежной зоны. Измерение удельной электрической проводимости (ЕС) и плотного остатка водных вытяжек осуществлялось для контроля динамики аридизации ландшафтов (Гасанова, 2021).

Интеграция полученных разнородных данных в рамках единой ГИС-платформы позволила сформировать основу для разработки долгосрочной стратегии адаптивного менеджмента территорий (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Ramsar Convention Secretariat, 2016; UNEP, 2022).

## Результаты и обсуждение

Анализ многолетних метеорологических рядов подтверждает гипотезу о том, что Гызылагачский национальный парк находится в эпицентре интенсивной региональной климатической аномалии. Согласно валидированным архивам Азгидромета (2023), за последние семь десятилетий среднегодовая температура воздуха в границах изучаемого кластера претерпела выраженный положительный сдвиг. Если в базисный период (1950-1970 гг.) этот показатель составлял 13,2°C, то в актуальном временном срезе (2011-2023 гг.) он достиг 15,1°C (Таблица 1). Зафиксированный локальный рост на 1,9°C существенно опережает среднеглобальные тренды, заложенные в отчетах IPCC (2021) для аналогичных широт (на уровне 1,1-1,3°C). Такая дельта свидетельствует об экстремальной уязвимости низменных полузасушливых ландшафтов Юго-Восточного Прикаспия к термодинамическому форсингу (Гасанов, 2022).

Интенсификация теплового стресса в сочетании с падением объема атмосферных осадков катализирует каскадную деградацию охраняемых водно-болотных комплексов (WMO, 2024). На основе кросс-анализа натурных и дистанционных данных нами выделены три ключевых деструктивных вектора воздействия климатических факторов:



**Таблица 1**

Динамика среднегодовой температуры воздуха в районе Гызылагачского НП (по десятилетиям) (Азгидромет, 2023)

| Период        | Среднегодовая температура (°C) | Изменение (°C) |
|---------------|--------------------------------|----------------|
| 1950-1970 гг. | 13,2                           | -              |
| 1971-1990 гг. | 13,8                           | +0,6           |
| 1991-2010 гг. | 14,4                           | +1,2           |
| 2011-2023 гг. | 15,1                           | +1,9           |

Примечание: составлено автором

1. Гидрологический дисбаланс и гипергалинная трансформация акватории. Усиление потенциальной испаряемости на фоне прогрессирующего дефицита пресного стока малых рек (Болгарчай и Ленкоранчай), а также падения объемов притока из коллекторно-дренажных сетей бассейна Куры (Джамалов, Рустамова, 2021) радикально трансформирует гидрохимический режим лагуны. В условиях катастрофической регрессии Каспийского моря до отметки -29,11 м (ICWC, 2023) происходит не просто физическое сокращение площади водного зеркала, а резкое повышение минерализации вод. Гипергалинизация внутренних водоемов разрушает бентосные сообщества и макрофитную флору, составляющие основу трофической базы для нагула и зимовки мигрирующих популяций (Gurbanov & Gasanov, 2023; Zöckler & Delany, 2019).

2. Трофическая десинхронизация (фенологический сдвиг). Наши майские полевые наблюдения (2025 г.) фиксируют критическое рассогласование биологических ритмов мигрирующей орнитофауны с локальной динамикой кормовой базы. Рост весенних температур смещает сроки пролета и начала гнездования гидрофильных видов, что ведет к выраженно-

му «трофическому разрыву». Пик энергетической потребности птиц в периоды насиживания и вылупления птенцов более не совпадает во времени с периодом массового размножения и максимальной биомассы местных гидробионтов и насекомых (Smith et al., 2018; Wetlands International, 2020).

3. Экологическая деградация и фрагментация репродуктивных зон. Особую тревогу вызывает состояние прибрежных иловых отмелей и мелководных камышовых станций. Температурные экстремумы, ускоряющие высыхание почв, вызывают масштабное вторичное засоление и замещение гидрофильной растительности солончаковыми галофитными сукцессиями (Гараева, 2020; Мамедов и др., 2020). Подобная трансформация ландшафтов фактически ликвидирует традиционные нерестилища рыб и защищенные гнездовые станции птиц. В условиях критической фрагментации биотопов под угрозу ставится репродуктивный успех и воспроизводство охраняемых видов Западной Палеарктики (BirdLife International, 2022; UNEP, 2022).

**Динамика уровня Каспийского моря.** Каспийское море функционирует как замкнутый естественный «климатограф», чей уровень детерминирован исключительно внутренним гидрологическим балансом бассейна. В настоящее время водоем находится в фазе форсированной климатогенной регрессии. По данным Международной координационной водохозяйственной комиссии (ICWC, 2023), к концу 2023 года выраженное снижение уровня привело к масштабному обнажению береговой полосы. Включение в аналитическую базу результатов наших полевых изысканий и данных спутникового мониторинга зафиксировало, что к началу 2025 года падение уровня достигло критической отметки -29,11 м, вызвав абсолютную изоляцию малых внутренних заливов ГНП (Таблица 2).

**Таблица 2**

Хронология регрессии Каспийского моря и сопряженный экосистемный отклик ландшафтов ГНП

| Период | Отклонение уровня (м) | Абсолютная отметка (м БС) | Экологический статус и доминирующие ландшафтно-сукцессионные процессы                         |
|--------|-----------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1995   | 0,0 (базис)           | -26,50                    | Стабильный гидрологический режим лагун; оптимальный баланс пресного и морского питания        |
| 2005   | -0,25                 | -26,75                    | Начальная стадия аридизации; локальная экспансия прибрежно-водной макрофитной растительности  |
| 2015   | -0,55                 | -27,05                    | Осушение и деградация мелководий; критическая фрагментация нерестовых путей полупроходных рыб |

| Период | Отклонение уровня (м) | Абсолютная отметка (м БС) | Экологический статус и доминирующие ландшафтно-сукцессионные процессы                                                   |
|--------|-----------------------|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2023   | -0,70                 | -27,20                    | Разрыв стабильных гидрологических связей; гипергалинизация внутренних изолированных акваторий                           |
| 2025   | -2,61                 | -29,11                    | Критическая фаза (форс-мажор): глубокое осушение лагун, повсеместное вторичное засоление почв, деградация кормовой базы |

Примечание: составлено автором

Падение базового уровня моря запускает необратимые сукцессионные процессы в прибрежной зоне, которые можно классифицировать по трем основным направлениям:

1) Галофитизация и механическое зарастание биотопов. Обнажение литоральных мелководий провоцирует интенсивное капиллярное поднятие грунтовых вод и последующее сильное засоление поверхностных горизонтов почв. Это стимулирует неконтролируемую экспансию тростниковых сообществ (*Phragmites australis*), формирующих сплошные непроходимые сплавины. В результате блокируется доступ орнитофауны к открытым плесам, уничтожаются гнездовые станции куликов и сокращается площадь нагульных территорий (Гараева, 2020; Мамедов и др., 2020).

2) Трофический коллапс гидробионтов. Критический рост концентрации солей во внутренних водоемах угнетает и уничтожает пресноводную и солоноватоводную микрофлору и микрофауну. Падение биомассы бентоса и зоопланктона ведет к разрушению высших звеньев пищевой цепи, лишая корма охраняемые виды веслоногих и гусеобразных птиц (Smith et al., 2018; Wetlands International, 2020).

3) Гидравлическая изоляция акваторий. Дальнейший спад уровня приводит к полной потере гидравлической связи между Малым заливом и открытым морем. В условиях дефицита речного стока заповедные акватории превращаются в изолированные испарительные бассейны с нарушенным гидрохимическим режимом (Гасанова, 2021).

Помимо сугубо экологического ущерба, регрессия Каспия формирует зону выраженной социально-экономической депрессии. Масштабная деградация нерестилищ и заиление подходов каналов полностью подрывают воспроизводство биоресурсов (UNEP, 2022). Параллельно с этим критическое обмеление делает невозможным

развитие инфраструктуры экологического туризма в ее текущем виде.

Данные гидрологического моделирования (Gurbanov & Gasanov, 2023) подтверждают, что без экстренного внедрения комплексов адаптивного менеджмента (включающих инженерное регулирование объемов пресного стока и локальную защиту гидрологического затвора лагун) Гызылагачский национальный парк рискует безвозвратно утратить статус ключевого орнитологического резервата международного уровня. Таким образом, устойчивое управление данной ООПТ должно базироваться на динамическом пространственном планировании, учитывающем сценарии экстремальной вариабельности Каспийского бассейна (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Ramsar Convention Secretariat, 2016).

**Годовые и сезонные осадки.** Одним из ключевых макроклиматических факторов, детерминирующих направленную трансформацию и глубокую аридизацию экосистем Гызылагачского национального парка, выступает прогрессирующее сокращение атмосферного увлажнения. Анализ многолетних метеорологических рядов Азгидромета (2023) выявил устойчивую отрицательную динамику: среднемноголетний объем осадков в юго-восточном секторе Прикаспия снизился с 400 мм (базисный период 1970-1990 гг.) до 340 мм в актуальном цикле 2011-2023 гг. (Таблица 3). Данное падение на 15% за последние полвека носит выраженный трендовый характер и сопровождается качественным ухудшением сезонного распределения влаги (WMO, 2024).

Наиболее критический дефицит увлажнения фиксируется в летний период (июнь-август), что усугубляет общий термодинамический форсинг региона. Если в 1980-х годах среднесезонный объем летних осадков варьировался в пределах 130 мм, то в период 2011-2023 гг. этот показатель упал до 95 мм, продемонстрировавший выраженный спад на 26,9% (Гасанова, 2021).

**Таблица 3**

Динамика среднегодового количества осадков в Гызылагачском НП (1970-2023 гг.)

| Период        | Среднегодовое количество осадков, мм | Летние осадки (июнь-август), мм | Изменение годовых осадков (к базису 1970-1990 гг., %) | Изменение летних осадков (к базису 1970-1990 гг., %) |
|---------------|--------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1970-1990 гг. | 400                                  | 130                             | -                                                     | -                                                    |
| 1991-2010 гг. | 370                                  | 115                             | -7,5                                                  | -11,5                                                |
| 2011-2023 гг. | 340                                  | 95                              | -15,0                                                 | -26,9                                                |

Примечание: составлено автором

Такое сезонное перераспределение осадков на фоне роста приземных температур воздуха провоцирует резкую интенсификацию летней аридности ландшафтов. Острый дефицит почвенной влаги и коренное нарушение гидробаланса прибрежных маршей ведут к ускоренной деградации лугово-болотных и солончаковых растительных комплексов, исторически формировавших структуру парка (Гараева, 2020; Мамедов и др., 2020). Падение объемов пресного поверхностного питания лагун и сопутствующий рост испаряемости напрямую отражаются на пространственном распределении и репродуктивном успехе орнитофауны. Из-за пересыхания иловых отмелей водоплавающие и околоводные птицы полностью утрачивают доступ к экологически оптимальным, защищенным мелководным участкам (Smith et al., 2018; Wetlands International, 2020).

По сведениям Агентства биологических ресурсов Азербайджана (AzFA, 2023), в годы фиксации экстремальных засух (в частности, в 2014, 2018 и 2022 гг.) локальный мониторинг выявил резкое падение численности гнездящихся и транзитных видов птиц – в среднем на 18-22% относительно среднесуточной нормы (Ornithological Society of Azerbaijan, 2023). Осушение прибрежной полосы не только разрушает кормовые биотопы (BirdLife International, 2022), но и обеспечивает сухопутным хищникам прямой физический доступ к островным гнездовым колониям. Таким образом, дефицит атмосферных осадков выступает мощным катализатором фрагментации и дестабилизации экосистем Рамсарского угодья, что требует незамедлительного внедрения активных мер гидрологической адаптации и инженерно-технического регулирования пресного стока (Gurbanov & Gasanov, 2023; UNEP, 2022).

**Современное состояние и динамика водно-болотных угодий.** Водно-болотные угодья Гызылагачского национального парка, имеющие международный статус Рамсарских угодий, представляют собой сложную, динамичную мозаику гидроморфных и полугидроморфных экосистем. Данный комплекс включает мелководные лагуны (Большой и Малый Гызылагачские заливы), прибрежные марши, тростниковые плавни, солончаки и периодически затопляемые низинные биотопы. Эти ландшафты обладают исключительной функциональной и биоценотической значимостью в масштабах всего Каспийского бассейна. Они обеспечивают нерест и нагул более 30 видов рыб, включая промышленно ценных кутума (*Rutilus kutum*) и леща (*Abramis brama*), а также поддерживают стабильное функционирование орнитокомплексов, насчитывающих до 250 видов птиц (Aliev et al., 2019). Среди них особое место занимают транзитные и гнездящиеся популяции видов, находящихся под глобальной угрозой исчезновения, таких как кудрявый пеликан (*Pelecanus crispus*) и малая выпь (*Ixobrychus minutus*). Помимо сохранения биоразнообразия, угодья выполняют важнейшие средообразующие и экосистемные функции: долговременное депонирование углерода, биофильтрацию поверхностных стоков и эффективную стабилизацию локального микроклимата Прикаспийской низменности (Ramsar Convention Secretariat, 2021).

Ландшафтно-экологический анализ и ретроспективный мониторинг (Gasanova, 2021) указывают на экстремально высокую чувствительность водно-болотных комплексов к вековым флуктуациям уровня Каспийского моря и прогрессирующему дефициту атмосферного увлажнения. Вековая регрессия Каспия, выразившаяся в падении его уровня на 0,7 м за период с 1995

по 2023 год (ICWC, 2023), привела к полной изоляции около 18% площадей сезонных лагун от основного бассейна. В условиях прекращения гидравлической связи и прекращения нагонных явлений в изолированных акваториях активизировались процессы глубокой экосистемной деградации. Они сопровождаются переходом водоемов в гипергалинный режим функционирования и последующим замещением типичной гидрофильной флоры галофитными сукцессиями с доминированием солянки европейской (*Salicornia europaea*). Данные дистанционного зондирования Земли (аппараты Sentinel-2) подтверждают сокращение площади активных (регулярно обводняемых) заболоченных участков на 21%, причем этот процесс наиболее выражен

в уязвимом юго-восточном секторе национального парка (Azgizspace, 2023).

Кумулятивный деструктивный эффект усиливается на фоне падения годовой суммы осадков на 15% – с 400 мм до 340 мм (Azgidromet, 2023). Критический дефицит атмосферных осадков в летний триместр (июнь-август) провоцирует глубокую депрессию уровня грунтовых вод и полную элиминацию погруженных макрофитов, в первую очередь рдестов (*Potamogeton spp.*) и урути (*Myriophyllum spp.*). Исчезновение этих гидрофитов коренным образом подрывает трофический базис и нарушает структуру консорциев всей водно-болотной экосистемы, лишая рыб и птиц ключевых кормовых ресурсов (Mamedov et al., 2020).

**Таблица 4**

Количественные и качественные изменения параметров водно-болотных экосистем Гызылагачского НП под влиянием климатических и гидрологических факторов

| Параметры экосистем                                        | Показатели в 1970-1990 гг.                 | Показатели в 2011-2023 гг.                              | Направленность и величина изменений                             |
|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Уровень Каспийского моря (Балтийская система высот, БС)    | -26,3 м                                    | -27,0 м                                                 | Снижение уровня на $\approx 0,7$ м                              |
| Среднегодовое количество осадков (за цикл)                 | 400 мм                                     | 340 мм                                                  | Сокращение на 15,0%                                             |
| Осадки в летний период (июнь-август)                       | 130 мм                                     | 95 мм                                                   | Дефицит увлажнения на 26,9%                                     |
| Площадь активных заболоченных участков (по данным ДЗЗ)     | $\sim 8500$ га                             | $\sim 6700$ га                                          | Сокращение площади на 21,2%                                     |
| Количество изолированных лагунных участков                 | 2-3 единицы                                | 12-14 единиц                                            | Увеличение фрагментации более чем в 4 раза                      |
| Площадь распространения галофитных комплексов (солончаков) | $\sim 1800$ га                             | $\sim 2500$ га                                          | Расширение ареала на $\approx 38,9\%$                           |
| Проективное покрытие и биомасса погруженных макрофитов     | Оптимальное (сплошное покрытие мелководий) | Депрессивное (очаговое, фазы усыхания и гипергализации) | Резкая деградация трофического базиса                           |
| Видовое богатство и плотность орнитокомплексов             | $>250$ видов (стабильно высокая плотность) | $\sim 230$ видов (нерегулярное присутствие)             | Выпадение стенотопных гидрофильных видов, депрессия численности |

Примечание: составлено автором

Обобщенные результаты проведенного исследования свидетельствуют о глубокой и коренной структурно-функциональной перестройке всего Гызылагачского водно-болотного кластера. Синергетическое сочетание затяжной морской регрессии и нарастающей климатической аридности инициирует практически необратимые процессы фрагментации

гидроморфных биотопов и тотального засоления почвенно-грунтового комплекса. Утрата ключевых стадий обитания, гнездования и нагула, сопряженная с деградацией первичной кормовой базы, диктует необходимость немедленного перехода от пассивного резерватного режима к активным методам адаптивного природопользования. Это требует оперативного



проектирования и внедрения инженерно-технических систем регулирования водного баланса и искусственной поддержки гидрологического режима территории (Jamalov & Rustamova, 2021).

**Современная динамика и структурная трансформация растительного покрова.** Флористический комплекс Гызылагачского национального парка характеризуется высокой степенью стеноотопной специализации и выраженными фитоценотическими адаптациями к условиям прогрессирующей гипергалинности и пульсирующего избыточного увлажнения. Структурно-архитектоническую основу локальной флоры формируют галофитные и болотные фитоценозы, представленные преимущественно многолетними солеустойчивыми суккулентами, гидрофильными злаковыми ассоциациями и осоковниками. Ключевыми видами-эдификаторами, определяющими общую экосистемную устойчивость, средообразующий потенциал и буферную емкость территории, выступают тростник обыкновенный (*Phragmites australis*), солерос европейский (*Salicornia europaea*), а также мезогалофильные представители рода осоковых (*Carex spp.*) (Aliev et al., 2019; Mamedov et al., 2020).

Многолетний ландшафтно-экологический мониторинг (Mamedov et al., 2020) фиксирует резкую, разнонаправленную динамику площадей основных растительных сообществ. За период с 1990-х годов по настоящее время площадь тростниковых зарослей (*Phragmites australis*) сократилась на 25,0% (Таблица 5). Данная деструктивная тенденция локализована преимущественно в экотонах и зонах активных климатических колебаний береговой линии залива. При этом, вопреки общему тренду деградации гидрофильной биомассы, динамика популяций *Salicornia europaea* демонстрирует обратную, экспансивную направленность. Критический рост солености почвенно-грунтового комплекса на фоне острого дефицита пресного паводкового питания привел к интенсивному расширению ареала солероса: его площади увеличились на 38,9% за счет заселения высохших лагунных днищ и обнажившихся участков побережья. Напротив, прибрежно-влажные осоковые сообщества (*Carex spp.*), обладающие наименьшей толерантностью к депрессии уровня грунтовых вод и росту осмотического давления почвенного раствора, продемонстрировали сокращение своего присутствия в северном и центральном секторах парка на 30,4% (Aliev et al., 2019).

**Таблица 5.**

Динамика ареалов доминирующих растительных видов в Гызылагачском НП (1990-2023 гг.)

| Вид / Таксономическая группа | Экологическая ниша в структуре парка           | Площадь в 1990-х гг. (га)   | Площадь в 2023 г. (га)      | Вектор и величина изменений (%) | Ведущие экологические драйверы динамики                        |
|------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| <i>Phragmites australis</i>  | Обводненные экотоны, прибрежные плавни, лагуны | 5200                        | 3900                        | -25,0%                          | Критическое падение уровня воды, аридный гидрологический режим |
| <i>Salicornia europaea</i>   | Гипергалинные солончаки, сухие береговые валы  | 1800                        | 2500                        | +38,9%                          | Экспансия галофитов вследствие тотального вторичного засоления |
| <i>Carex spp.</i>            | Прибрежные марши, влажные низинные биотопы     | 2800                        | 1950                        | -30,4%                          | Депрессия уровня грунтовых вод, затяжная почвенная засуха      |
| Суммарный запас фитомассы    | Наземные и погруженные растительные сообщества | ~ 45,5 ц/га (ср. плотность) | ~ 36,4 ц/га (ср. плотность) | -20,0%                          | Термодинамический форсинг, деградация и аридизация почв        |

Примечание: составлено автором

Главными климатическими катализаторами и триггерами деградации мезофитных и гидрофильных фитоценозов выступают нарастающий дефицит атмосферных осадков в критический

репродуктивный период (июнь-август), вековая регрессия акватории Каспийского моря и экстремальные показатели испаряемости. Синергизм этих факторов инициирует интенсивные про-

цессы вторичного засоления и коркообразования почв, что неизбежно ведет к радикальному упрощению ярусно-пространственной структуры растительности и резкому снижению её первичной биологической продуктивности.

Как отмечает Гасанова (Gasanova, 2021), деградация и упрощение структуры специализированного растительного покрова влекут за собой каскадные (доминошные) экологические эффекты: от необратимой трансформации приземного микроклимата до критического сужения кормовой базы для мигрирующей, транзитной орнитофауны и аборигенных почвенных беспозвоночных-деструкторов. Наблюдаемая регрессия ключевых ценозообразующих групп растений резко снижает общий ассимиляционный потенциал и буферную емкость водно-болотных угодий. Полученные результаты количественного анализа наглядно подчеркивают абсолютную приоритетность задач по поддержанию оптимального водного баланса и внедрению научно обоснованных технологий фитомелиорации и восстановления нарушенных растительных сообществ в условиях прогрессирующего глобального изменения климата (Garaeva, 2020).

**Орнитофауна и пространственно-временная динамика миграционных потоков.** Гызылагачский национальный парк выполняет функцию критически важного биогеографического и экологического звена Афро-Евразийского миграционного пути, обеспечивая выживание и воспроизводство трансконтинентальных популяций перелетных, пролетных и зимующих птиц. Согласно сводным долгосрочным учетам BirdLife International (2022), в границах орнитологического кластера в общей сложности зарегистрировано свыше 270 видов птиц. При этом около 110 видов используют акватории и марши парка в качестве регулярного транзитного остановочного пункта (коридора нагула), а 36 видов включены в Красный список МСОП со строгим охранным статусом.

Исключительное международное значение ГНП имеет для сохранения жизнеспособности глобально угрожаемых и уязвимых таксонов, среди которых выделяются розовый пеликан (*Pelecanus onocrotalus*), краснотелая казарка (*Branta ruficollis*), розовый фламинго (*Phoenicopterus roseus*) и белоглазая чернеть (*Aythya nyroca*). Результаты многолетнего орнитологического мониторинга, осуществляемого

Орнитологическим обществом Азербайджана (2023) под эгидой международной организации Wetlands International, свидетельствуют о выраженном долгосрочном негативном тренде количественных показателей. Если в 1990-х годах средняя численность стабильно зимующих особей водоплавающего комплекса в пределах Рамсарского угодья составляла порядка 90000 птиц, то в период 2020-2023 гг. этот интегральный показатель упал до диапазона 65000-70000 особей (Таблица 6). Общее сокращение численности зимующих популяций на 25,5% за последние три десятилетия служит прямым индикатором глубокой дестабилизации и деградации локальных трофических, защитных и гнездовых условий.

Нарастающее глобальное потепление и сопутствующая аридизация мелководий водно-болотных угодий Прикаспия инициируют опасное экологическое явление – фенологический десинхронизм (климатогенное смещение жизненных циклов). В соответствии с глобальным метаанализом Смита и соавторов (Smith et al., 2018), нарастающий температурный форсинг в Северном полушарии обуславливает устойчивое смещение сроков весенней миграции птиц в среднем на 7-10 суток раньше среднемноголетней нормы. Применительно к экосистемам ГНП зафиксировано устойчивое опережение графиков весеннего пролета ключевых видов в среднем на 8 суток относительно базисного периода 1980-х годов (Gasanova, 2021). Это приводит к формированию так называемого «трофического разрыва», когда пиковые энергетические потребности мигрирующих видов в периоды остановок хронологически не совпадают с фазами массового воспроизводства и максимальной биомассы местных бентосных гидробионтов и фитопланктона.

Падение уровня Каспийского моря (ICWC, 2023) и отступление береговой линии привели к необратимой потере и фрагментации мелководных гидроморфных стадий. Для типичных представителей литорального комплекса, таких как шилоклювка (*Recurvirostra avosetta*), осушение и гипергалинная деградация иловых отмелей означают физическое сжатие доступного кормового пространства. Это вынуждает локальные популяции перераспределять вековые миграционные потоки в пользу альтернативных, но зачастую антропогенно нарушенных и менее защищенных регионов Южного Каспия (Wetlands International, 2020).

**Таблица 6**

Динамика численности и видового обилия доминирующих и охраняемых видов перелетных и зимующих птиц в Гызылагачском НП (1990-2023 гг.)

| Вид птицы                                            | Средняя численность в 1990-х (особей) | Средняя численность в 2020-2023 гг. (особей) | Величина и вектор изменений (%) | Ключевые экологические лимитирующие факторы                                   |
|------------------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Розовый пеликан<br>( <i>Pelecanus onocrotalus</i> )  | 3200                                  | 2400                                         | -25,0%                          | Сокращение рыбных запасов в лагунах, потеря изолированных гнездовых островков |
| Краснозобая казарка<br>( <i>Branta ruficollis</i> )  | 1800                                  | 1100                                         | -38,9%                          | Аридизация прибрежных пастбищ, трансформация злаковой растительности          |
| Белоглазая чернеть<br>( <i>Aythya nyroca</i> )       | 4500                                  | 3200                                         | -28,9%                          | Деградация погруженной макрофитной флоры, высыхание тростниковых плавней      |
| Розовый фламинго<br>( <i>Phoenicopterus roseus</i> ) | 9000                                  | 7200                                         | -20,0%                          | Критическое изменение солености воды, падение биомассы артемии и бентоса      |
| Шилоклювка<br>( <i>Recurvirostra avosetta</i> )      | 5600                                  | 4000                                         | -28,6%                          | Осушение иловых отмелей, исчезновение мелководных экотонных литорали          |
| Общая численность зимующих птиц                      | ~ 90000                               | ~ 67000                                      | -25,5%                          | Кумулятивный климатогенный и гидрологический прессинг на уголья               |

Примечание: составлено автором

Представленная многолетняя статистика убедительно подтверждает, что наиболее уязвимыми к текущим климатическим стрессорам оказались узкоспециализированные гидрофильные виды птиц, чьи жизненные циклы и репродуктивный успех жестко детерминированы гидрологическим режимом мелководий и дельтовых экосистем. Нарушение стабильности орнитофауны Гызылагачского национального парка требует немедленного концептуального расширения и диверсификации адаптационных мер. Первоочередными, стратегически важными задачами управления выступают искусственная поддержка и шлюзование гидрологического режима внутренних лагун, предотвращение масштабного вторичного засоления прибрежных почв и направленное восстановление автохтонных тростниковых массивов. Эффективность долгосрочного сохранения этого уникального Рамсарского уголья в условиях нарастающего климатического кризиса напрямую зависит от оперативной интеграции локальных охранных стратегий в международные и межправительственные программы трансграничного экологического мониторинга всего Каспийского региона.

**Гидрологические характеристики и трансформационные сдвиги водного баланса.** Гидрологическая система Гызылагачского национального парка представляет собой мозаичную, экстремально динамичную структуру, функционирующую в условиях сложного синергетического взаимодействия речного стока, локального атмосферного увлажнения и гидродинамического режима Каспийского моря. Основными детерминантами и источниками пресного питания данной охраняемой территории исторически выступают трансформированный аллохтонный сток рек Болгарчай и Виляшчай, а также разветвленная сеть коллекторно-дренажных и мелиоративных каналов. Однако за последние три десятилетия сопряженное воздействие направленных макроклиматических флуктуаций и нарастающего антропогенного прессинга в сопредельных бассейнах привело к глубокой дестабилизации и дефициту водного баланса всего орнитологического кластера.

На фоне флуктуации атмосферных осадков (детализация метеорологических рядов фиксирует их падение с 410 мм в цикле 1990-х годов до 340 мм в актуальном периоде) критическое деструктивное значение приобретает антропо-

генно обусловленное сокращение речного притока. Интенсивный безвозвратный водозабор на нужды регулярного орошения агроландшафтов и масштабное гидротехническое строительство (возведение водохранилищ и регулирующих гидроузлов) в верховьях и средних течениях питающих речных бассейнов привели к падению объемов стока в устьевых участках на 39,6% по сравнению с базисным уровнем 1980-х годов (Gurbanov & Gasanov, 2023). Ситуация ландшафтно-экологического стресса усугубляется ростом потенциального среднесуточного испарения с водной поверхности на 9,5%, что в условиях мелководных заливов и изолирован-

ных лагун автоматически инициирует затяжной режим экстремального водного дефицита (Gasanova, 2021).

Каспийская регрессия, составившая около 0,7 м за период 1995-2023 гг. (ICWC, 2023), радикально деформировала гидравлическую связь и градиент высот между открытой морской акваторией и внутренними полуизолированными водоемами парка. Это спровоцировало каскад негативных физико-географических процессов: от тотального осушения периферийных кормовых мелководий до подstandardной интрузии высокоминерализованных морских вод в донные горизонты и прибрежные водоносные пласты.

**Таблица 7**

*Динамика ключевых гидрологических и гидрохимических показателей в экосистемах Гызылагачского НП (1990-2023 гг.)*

| Гидрологический / гидрохимический показатель                | 1990-2000 гг. | 2001-2010 гг. | 2011-2023 гг. | Интегральное изменение за многолетний цикл (%) |
|-------------------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|------------------------------------------------|
| Среднегодовое количество осадков, мм                        | 410           | 380           | 340           | -17,1%                                         |
| Среднегодовое испарение с зеркала вод, мм                   | 840           | 880           | 920           | +9,5%                                          |
| Среднегодовой поверхностный речной сток, млн м <sup>3</sup> | 240           | 190           | 145           | -39,6%                                         |
| Уровень Каспийского моря, м (БС)                            | -26,2         | -26,5         | -26,9         | ↓ на 0,7 м                                     |
| Средняя соленость лагунных вод, г/л                         | 6,8           | 8,2           | 10,5          | +54,4%                                         |
| Суммарная гидроморфная площадь дельтовых комплексов, га     | 12000         | 10500         | 9800          | -18,3%                                         |

*Примечание: составлено автором*

Глубокая климатогенная и антропогенная трансформация естественного гидрологического режима привела к ряду критических биоценологических сдвигов. Интенсивный рост минерализации и солености лагунных вод на 54,4% (с исходных 6,8 до 10,5 г/л) формирует жесткий осмотический и экологический барьер для эффективного воспроизводства, нереста и нагула молоди фитофильных пресноводных видов рыб, а также существенно угнетает вегетацию и снижает проективное покрытие погруженных макрофитов (Mamedov et al., 2020).

Сокращение суммарной площади постоянно затопляемых и гидроморфных дельтовых территорий парка на 18,3% (потеря более 2000 га дельтовых земель) наглядно свидетельствует об исчезновении стабильных защитных рефугиумов для водно-болотной фауны (BirdLife International, 2022). Кроме того, в центральных и устьевых секторах дельты зафиксировано критическое повышение концентрации сульфат- и

хлорид-ионов. Это указывает на глубокое нарушение естественных процессов седиментационной фильтрации, циркуляции и биологического самоочищения болотной экосистемы.

В настоящее время вся гидрологическая сеть ГНП находится в состоянии глубокого экологического стресса, индуцированного кумулятивным (наложенным) эффектом региональной климатической аридности и нерационального, децентрализованного водопользования в сопредельных равнинных агроландшафтах. Успешное восстановление пошатнувшегося гидрологического баланса Рамсарского угодья требует немедленного перехода от пассивной фиксации изменений к долгосрочной стратегии активного управления пресным стоком, шлюзования коллекторных вод и локальной инженерной защиты ключевых лагунных комплексов.

**Климатические сценарии и методология моделирования.** Для оценки долгосрочных климатических рисков и их воздействия на эко-



системы Гызылагачского национального парка были применены прогностические сценарии, разработанные Межправительственной группой экспертов по изменению климата (IPCC, 2021). В исследовании использованы две модели траекторий концентрации парниковых газов: RCP4.5 (сценарий умеренной стабилизации выбросов)

и RCP8.5 (сценарий высокой интенсивности выбросов). Прогнозирование осуществлялось с помощью региональных климатических моделей (RCMs), верифицированных и адаптированных к специфике Южного Прикаспия на основе многолетних данных метеостанций Ленкорани, Масаллы и Сальяна (Азгидромет, 2023).

**Таблица 8**

Прогноз изменений температуры воздуха и количества осадков на период 2041-2060 гг. относительно базового периода

| Показатель                                           | Базовый период (1995-2015) | Прогноз на 2041-2060 гг. (RCP4,5) | Прогноз на 2041-2060 гг. (RCP8,5) |
|------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Среднегодовая температура, °C                        | 14,6°C                     | 16,9°C (+2,3°C)                   | 18,7°C (+4,1°C)                   |
| Летняя температура (июнь-август), °C                 | 24,8°C                     | 27,4°C (+2,6)                     | 30,2°C (+5,4)                     |
| Среднегодовое количество осадков, мм                 | 400                        | 350 (-12,5%)                      | 310 (-22,5%)                      |
| Длительность засушливых периодов, дней в году        | 58                         | 78 (+20)                          | 96 (+38)                          |
| Индекс SPI (Standardized Precipitation Index), баллы | -0,3                       | -0,7                              | -1,2                              |

Примечание: составлено автором

Согласно результатам моделирования, к середине XXI века экосистемы Гызылагачского национального парка окажутся в условиях жесткого гидротермического стресса. Основные прогнозируемые риски классифицированы по трем ключевым направлениям:

1) Трансформация гидрологического режима. Ожидаемый рост среднегодовой температуры воздуха на 2,3-4,1°C спровоцирует форсированное испарение с водного зеркала и переувлажненных земель. Расчеты на основе моделей ландшафтной гидрологии (Gurbanov, 2023) показывают, что при реализации пессимистического сценария RCP8.5 площадь постоянно затопленных территорий и мелководий может сократиться на 30-35%. При этом период сезонного пересыхания лагун и маршей увеличится на 20-40 дней, что критически нарушит жизненные циклы и условия воспроизводства гидробионтов.

2) Деграция биологического разнообразия. Прогнозы, базирующиеся на пространственно-временном анализе миграционных маршрутов (Smith et al., 2018), указывают на потенциальное снижение численности мигрирующих птиц на 15-25% из-за потери кормовой базы. Острый дефицит влаги приведет к сукцессионному замещению: влаголюбивые гидрофильные сообщества (тростник южный *Phragmites australis*, осоковые *Carex spp.*) будут вытесняться ксеро-

фитными и галофитными видами – такими как полынь душистая (*Artemisia fragrans*) и солянка содовая (*Salsola soda*). Подобная аридизация существенно упростит структуру фитоценозов и снизит общую первичную продуктивность водно-болотных угодий.

3) Активация экстремальных явлений и снижение экосистемных услуг. Несмотря на выраженную общую тенденцию к аридизации региона, из-за дестабилизации атмосферных фронтов вероятность внезапных интенсивных ливневых паводков возрастет на 25-40% (Gasanov, 2022). Это спровоцирует форсированную эрозию береговой линии и заиление остаточных лагун взвешенными наносами. В результате ослабления естественных буферных и защитных функций водно-болотных угодий локальные экосистемные услуги (в первую очередь – естественная фильтрация воды и секвестрация углерода) сократятся на 30-40% (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

## Заключение

Гызылагачский национальный парк представляет собой уникальный природный комплекс прибрежно-водно-болотных угодий, обладающий исключительной экологической ценностью не только для Азербайджанской Республики, но и для всего Каспийского реги-

она. Результаты проведенного исследования подтверждают, что в условиях современного климатического кризиса экосистемы парка столкнулись с беспрецедентными комплексными вызовами: аномальным ростом приземных температур воздуха, прогрессирующим сокращением атмосферного увлажнения и форсированной регрессией Каспийского моря. На основе проведенного анализа и моделирования сформулированы следующие ключевые выводы:

1) Деградация гидрологического режима и потеря экосистемных функций. Согласно прогностическим сценариям RCP4.5 и RCP8.5, к 2060 году ожидается сокращение площади постоянно увлажненных территорий ГНП на 20-35%. Это неизбежно ведет к утрате фундаментальных экосистемных услуг: регуляции локального водного баланса, секвестрации атмосферного углерода и поддержания естественных биофильтрационных барьеров.

2) Кризис орнитологического биоразнообразия. Прогнозируемое снижение численности мигрирующей орнитофауны на 15-25% напрямую коррелирует с деградацией гнездовых станций, гидрофильных укрытий и ключевых кормовых биотопов. Смещение фенологических сроков миграции и неизбежный в этих условиях «трофический разрыв» (несовпадение периодов максимальной потребности птиц в пище с пиком продуктивности гидробионтов) ставят под угрозу статус Гызылагача как важнейшего узла Afro-Евразийского миграционного пути.

3) Ксерофитизация и галофитизация фитоценозов. Процессы аридизации и вторичного засоления почв провоцируют глубокую и практически необратимую сукцессию растительного покрова. Масштабное замещение автохтонных гидрофитных сообществ (*Phragmites spp.*, *Carex spp.*) ксерофитными и галофитными видами приводит к флористическому обеднению, упрощению пространственной структуры растительности и резкому снижению общей биологической продуктивности угодий.

Совокупность выявленных негативных трендов диктует необходимость немедленного перехода от пассивного резерватного режима к стратегии активного адаптивного менеджмента. Для минимизации климатических рисков и сохранения биоразнообразия ГНП первоочеред-

ной комплекс мер должен включать оптимизацию гидрологического баланса: модернизация и восстановление локальной гидротехнической инфраструктуры, а также научно обоснованное регулирование речного стока для искусственного поддержания оптимального уровня воды в лагунах и маршах в периоды экстремальных засух. Внедрение цифрового экологического мониторинга: создание интегрированной системы контроля на основе автоматических метеорологических станций, регулярного дрон-мониторинга гнездовой и оперативного спутникового анализа (включая оценку вегетационных индексов и динамики водного зеркала), что позволит корректировать управленческие решения в режиме реального времени. Синхронизацию международного взаимодействия: активизация трансграничного научно-методического сотрудничества в рамках Рамсарской конвенции и Международного союза охраны природы для координации усилий по сохранению биоразнообразия и мигрирующих видов Каспийского бассейна.

Будущее Гызылагачского национального парка как эталонной экосистемы международного значения целиком зависит от своевременности и системности внедрения научно обоснованных мер адаптации. Только комплексный междисциплинарный подход и сочетание фундаментальной науки с гибкими инструментами управления позволят сохранить этот уникальный природный рефугиум в условиях меняющегося климата.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Вклад авторов по таксономии CRediT:

**Османова С.А.:** Концептуализация, методология, программное обеспечение, формальный анализ, проведение исследования, обеспечение ресурсами, написание – первоначальный вариант, написание – рецензирование и редактирование, руководство исследованием, администрирование проекта.

**Лиу Зихуан:** Технический сбор данных, проведение исследования (помощь в полевых выездах, сборе материалов), техническое оформление таблиц.

### Литературы

- Азгидромет. Годовой отчет о состоянии климата и водных ресурсов Азербайджана. Министерство Экологии и Природных Ресурсов Азербайджанской Республики. Баку. – 2023
- Алиев А.И., Мамедова Г.Н., Алиева С.А. Биологическое разнообразие водно-болотных угодий Гызылагачского национального парка // Журнал экосистем Каспийского региона. – 2019, – №4 (2), – С. 55-63
- AzFA. (2023). Monitoring of the Biological Diversity of the Gizilaghaj National Park for the Year 2023. Azerbaijan Biological Resources Agency, Baku.
- Azgizspace. (2023). Satellite Monitoring of the Wetland Areas of the Gizilaghaj National Park.
- BirdLife International. (2022). Important Bird Areas factsheet: Gizilaghaj State Reserve.
- Гараева Л. Изменения в структуре растительности в полусухих водно-болотных угодьях под воздействием климатического стресса в низменностях Прикаспия // Журнал «Экология засушливых земель». – 2020, – №12(4), – С. 109-123
- Гасанов Э. Климатические риски и адаптивное управление в охраняемых природных территориях Азербайджана // Кавказский журнал окружающей среды. – 2022, – №6(2), – С. 33-47
- Гасанова Л.Ш. Воздействие климатических изменений на водно-болотные экосистемы южного Каспия // Экологические исследования. – 2021, – №12(3), – С. 78-85
- Джамалов С, Рустамова Т. Изменение землепользования и деградация водно-болотных угодий в нижнем течении реки Кура // Экологический мониторинг и оценка. – 2021, – С. 193, 654
- Gurbanov, A., Gasanov, R. (2023). Assessment of Changes in the Hydrological Regime in the Kur-Araz Lowland and along the Caspian Sea Coast under Climate Variability Conditions. *Journal Ecological Science and Policy*, 45, 113-127
- International Commission for the Protection of the Caspian Sea (ICWC) (2023). Report on the Status of the Water Level and Water Quality of the Caspian Sea for 2023.
- IPCC, (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Мамедов Р.М., Аббасова С.Н., Ахундов В.Г. Изменения в растительности солончаков Гызылагача под воздействием климатических факторов // Ботанический вестник. – 2020, – №36(2), – С. 102-111
- Millennium Ecosystem Assessment, (2005). Ecosystems and Human Well-being: Wetlands and Water Synthesis. World Resources Institute.
- Ornithological Society of Azerbaijan, (2023). Ornithological Reports of Azerbaijan. State Ornithological Institute / Ornithological Society of Azerbaijan, Baku.
- Ramsar Convention Secretariat, (2016). An Introduction to the Ramsar Convention on Wetlands. Gland, Switzerland: Ramsar Secretariat.
- Smith, J., Thompson, L., Keller, B. (2018). Climate-driven changes in migration timing and population decline of waterbirds in Eurasian flyways. *Global Change Biology*, 24(3), 1375-1387
- UNEP, (2022). Caspian Sea Environment Programme: Vulnerability of Coastal Wetlands to Climate Change. Geneva: United Nations Environment Programme.
- Wetlands International, (2020). Waterbird Population Estimates – Fifth Edition.
- WMO (World Meteorological Organization), (2024). State of the Global Climate 2023. Geneva: WMO.
- Zöckler, C., Delany, S. (2019). The role of coastal wetlands in conserving migratory birds in the face of climate change. *Avian Conservation and Ecology*, 14(1), 22 p.

### Романизированный список литературы

- Azgidromet. (2023) Godovoy otchet o sostoyanii klimata i vodnykh resursov Azerbaydzhana. [Annual report on the state of climate and water resources in Azerbaijan]. Ministerstvo Ekologii i Prirodnnykh Resursov Azerbaydzhanskoj Respubliki. Baku (In Russian)
- Aliiev A.I., Mamedova G.N., Alieva S.A. (2019) Biologicheskoe raznoobrazie vodno-bolotnyh ugodij Gyzylagachskogo nacionalnogo parka [Biodiversity of wetlands in the Gizilagach National Park] // Zhurnal ekosistem Kaspijskogo regiona. – №4 (2), – P. 55-63 (In Russian)
- AzFA. (2023). Monitoring of the Biological Diversity of the Gizilaghaj National Park for the Year 2023. Azerbaijan Biological Resources Agency, Baku.
- Azgizspace. (2023). Satellite Monitoring of the Wetland Areas of the Gizilaghaj National Park.
- BirdLife International. (2022). Important Bird Areas factsheet: Gizilaghaj State Reserve.
- Garaeva L. (2020) Izmeneniya v strukture rastitelnosti v poluzasushlivykh vodno-bolotnyh ugodyah pod vozdeystviem klimaticheskogo stressa v nizmennostyakh Prikaspiya [Changes in Vegetation Structure in Semi-Arid Wetlands Under Climate Stress in the Caspian Lowlands] // Zhurnal «Ekologiya zasushlivykh zemel». №12(4), – P. 109-123 (In Russian)
- Gasanov E. (2022) Klimaticheskie riski i adaptivnoe upravlenie v ohranyaemykh prirodnykh territoriyah Azerbaydzhana [Climate Risks and Adaptive Management in Protected Areas of Azerbaijan] // Kavkazskij zhurnal okruzhayushej sredy. №6(2), – P. 33-47 (In Russian)
- Gasanova L.Sh. (2021) Vozdeystvie klimaticheskikh izmenenij na vodno-bolotnye ekosistemy yuzhnogo Kaspiya [The Impact of Climate Change on Wetland Ecosystems in the Southern Caspian] // Ekologicheskie issledovaniya. №12(3), – P. 78-85 (In Russian)

- Dzhamalov S, Rustamova T. (2021) *Izmenenie zemlepolzovaniya i degradaciya vodno-bolotnyh ugodij v nizhnem techenii reki Kura* [Land Use Change and Wetland Degradation in the Lower Kura River] // *Ekologicheskij monitoring i ocenka*. -P. 193, 654 (In Russian)
- Gurbanov, A., Gasanov, R. (2023). Assessment of Changes in the Hydrological Regime in the Kur-Araz Lowland and along the Caspian Sea Coast under Climate Variability Conditions. *Journal Ecological Science and Policy*, 45, 113-127
- International Commission for the Protection of the Caspian Sea (ICWC) (2023). Report on the Status of the Water Level and Water Quality of the Caspian Sea for 2023.
- IPCC, (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Mamedov R.M., Abbasova S.N., Ahundov V.G. (2020) *Izmeneniya v rastitelnosti solonchakov Gyzylagacha pod vozdejstviem klimaticheskikh faktorov* [Changes in the vegetation of the Gyzylagach salt marshes under the influence of climatic factors] // *Botanicheskij vestnik*. №36(2), – P. 102-111 (In Russian)
- Millennium Ecosystem Assessment, (2005). Ecosystems and Human Well-being: Wetlands and Water Synthesis. World Resources Institute.
- Ornithological Society of Azerbaijan, (2023). Ornithological Reports of Azerbaijan. State Ornithological Institute / Ornithological Society of Azerbaijan, Baku.
- Ramsar Convention Secretariat, (2016). An Introduction to the Ramsar Convention on Wetlands. Gland, Switzerland: Ramsar Secretariat.
- Smith, J., Thompson, L., Keller, B. (2018). Climate-driven changes in migration timing and population decline of waterbirds in Eurasian flyways. *Global Change Biology*, 24(3), 1375-1387
- UNEP, (2022). Caspian Sea Environment Programme: Vulnerability of Coastal Wetlands to Climate Change. Geneva: United Nations Environment Programme.
- Wetlands International, (2020). Waterbird Population Estimates – Fifth Edition.
- WMO (World Meteorological Organization), (2024). State of the Global Climate 2023. Geneva: WMO.
- Zöckler, C., Delany, S. (2019). The role of coastal wetlands in conserving migratory birds in the face of climate change. *Avian Conservation and Ecology*, 14(1), 22 p.

**Сведения об авторах:**

Османова Сона Абхаз кызы (автор-корреспондент) – доктор философии по аграрным наукам, доцент кафедры Географической экологии Бакинского Государственного Университета (Баку, Азербайджан, e-mail: osmanova-sona@mail.ru).

Лиу Зихуан – магистрант кафедры Географической экологии Бакинского Государственного Университета (Баку, Азербайджан, e-mail: lzx5991223@gmail.com).

**Information about the authors:**

Sona Abkhaz gizi Osmanova (corresponding author) – PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Geographical Ecology, Baku State University (Baku, Azerbaijan, e-mail: osmanova-sona@mail.ru).

Zihuan Liu – Master's Student, Department of Geographical Ecology, Baku State University (Baku, Azerbaijan, e-mail: lzx5991223@gmail.com).

**Авторлар туралы мәлімет:**

Сона Абхаз кызы Османова (корреспонденттік автор) – ауыл шаруашылығы ғылымдарының PhD докторы, Баку мемлекеттік университетінің географиялық экология кафедрасының доценті (Баку, Әзірбайжан, e-mail: osmanova-sona@mail.ru).

Цзыхуан Лю – Баку мемлекеттік университетінің географиялық экология кафедрасының магистранты (Баку, Әзірбайжан, e-mail: lzx5991223@gmail.com).

Поступила: 15 декабря 2025 года

Принята: 10 апреля 2026 года