

*География*

УДК 551.481.1

ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ ОЗЕР В ЗАСУШЛИВЫХ ОБЛАСТЯХ  
В СВЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЕМ КЛИМАТА И ВОЗДЕЙСТВИЕМ  
АНТРОПОГЕННОГО ФАКТОРА

В. Р. БОЙНАГРЯН \*, А. А. АЙРИЯНЦ \*\*

*Кафедра картографии и геоморфологии ЕГУ, Армения*

Современное изменение климата спровоцировало усыхание Аральского моря (озера) и озер Чад и Урмия. Первые два озера неоднократно резко теряли свой объем воды при сильных засухах на достаточно длительное время, а во влажные периоды они снова восстанавливались. Выявлены периоды сильнейших засух и увлажнения их бассейнов. Современное их усыхание началось с 1960 гг. и развивается по сходному сценарию. Озеро Урмия свой доисторический объем потеряло вследствие тектонического опускания его котловины в конце позднего плейстоцена. А в новейшее время колебания его уровня были связаны в основном с изменениями климатических условий. Нынешнее усыхание всех трех озер совпало с новым сухим климатическим циклом, на который наложилось антропогенное воздействие, которое привело к катастрофическим последствиям. Спасти озера может только полный отказ от использования речного стока для сельскохозяйственных целей. Озера постепенно восстанавливаются при влажном климатическом цикле, который может прийти на смену теперешнего сухого цикла.

<https://doi.org/10.46991/PYSUC.2025.59.3.632>

**Keywords:** climatic cycle, drought, humidification, water level.

**Введение.** С начала XX в. средняя температура на Земле выросла на 1°C, а за период с 1850 г. по 2025 г. – на 1,42°C. Это повышение является самым высоким показателем за последние 100 000 лет, а 20 самых теплых лет приходятся на последние 22 года. Это потепление сопровождается изменением климата, которое проявляется в нарушении устоявшегося равновесия природы: начали активно таять ледники Гренландии, Антарктиды и Арктики, а также многолетняя мерзлота в зоне тундры, повышается уровень Мирового океана, участились наводнения, засухи и ураганы, погода стала непредсказуемой (волны жары и холода, экстремальные осадки), изменились океанические и атмосферные течения [1–3].

Отмечается, что температура воздуха над сушей с 1979 г. выросла вдвое больше, чем над океаном, а северное полушарие нагревается быстрее южного. Этот нагрев суши наиболее четко проявляется, прежде всего, в засушливых

\* E-mail: [vboynagryan@ysu.am](mailto:vboynagryan@ysu.am)

\*\* E-mail: [angelino@ysu.am](mailto:angelino@ysu.am)

(пустынных) областях, где резко активизировались процессы опустынивания: значительное превышение испарения над суммой приходных составляющих (атмосферные осадки, сток рек), исчезновение многих мелких озер и катастрофическое усыхание крупных, но неглубоких озер [4].

Основной целью данной статьи является анализ динамики развития ряда озер (на основе опубликованных в Интернете материалов), расположенных в засушливой зоне в условиях ухудшения природных условий и увеличения антропогенной нагрузки, приведших к катастрофическим последствиям, а также роли климатических циклов в их “жизни”.

**Методы исследования и материалы.** При подготовке данной статьи авторы проанализировали опубликованные работы по Аральскому морю (озеру), озерам Чад и Урмия, топографические карты масштаба 1:500 000 (для озера Урмия), а также космические снимки.

#### **Результаты и обсуждение.**

**Аральское море** (бессточное озеро Центральной Азии) до начала 1960-х годов XX в. было четвертым по величине ( $67\ 499\ km^2$ ) озером мира. Длина озера составляла 435–426 км, ширина – 284 км, максимальная глубина – 68–69 м, объем воды –  $1083\ km^3$ , соленость – 10 г/л. Однако с 1960 г. началось его усыхание со скоростью от 20 до 80–90 см/год и деградация [5].

Предыстория Араля относится к позднему плиоцену, когда начался первый этап морского обводнения его впадины водами акчагыльской и ашшеронской трансгрессий Каспийского моря. К этому времени Аральская котловина в общих чертах уже существовала. Ее образование относится к среднему плиоцену [5, 6]. Однако в это время Амударья и Сырдарья не доносили свои воды до Приаралья. Первое поступление вод среднеазиатских рек в Арап относится к позднему плейстоцену [7], а основное их поступление – к голоцену. Это привело к образованию моря. В его развитии известны две стадии: *озерно-солончаковая* – начало голоцена, и *морская* – поздний голоцен, резкие колебания его уровня и солености. Во время трансгрессий соленость выравнивалась и не превышала 10 г/л; регрессии совпадали с жаркими аридными условиями, уровень Араля резко падал, море мелело и разбивалось на отдельные озера с соленостью воды до 100 г/л. В голоцене в истории Араля было три крупных трансгрессий и, соответственно, регрессий. Озеро предположительно образовалось 15–18, а по некоторым данным – 21 тысячу лет назад. Первоначально озеро было небольшим, вода в него поступала в основном за счет стока р. Сырдарья. Река Амударья тогда вела себя довольно капризно, поворачивая в нижнем течении то на запад (при этом обводнялась Сарыкамышская впадина, откуда вода по руслу Узбоя текла к Каспийскому морю, что на протяжении веков происходило неоднократно), то на север и восток – к Арапу [7].

Жители древних городов Средней Азии еще с античных времен периодически меняли направление стока Амудары, заставляя ее течь в Каспий или в Арап, или в оба водоема одновременно. Последняя глубокая регрессия Араля предположительно относится к IV веку н.э., когда жители древнего Хорезма изменили направление стока Амудары к Каспию, чтобы орошать свои земли. Это позволило купцам по водному пути добираться из Хорезма в

Хорасан (Южный Каспий). Во второй половине VI в. Арал вновь возродился, и его воды оживили песчаную пустыню [7].

На основе спорово-пыльцевого анализа проб грунта из колонки, отобранной у берега Аральского моря, были установлены периоды минимального уровня воды в нем (засуха): до 300 г., в 600 г., в 1220 г., в 1400 г., затем в 1960-е годы уровень снова стал снижаться. Самым низким уровень моря был в XIV или в начале XV веков. В период с 400 г. по 900 г. были влажные условия, которые прерывались короткими интервалами засух (55–600 гг., 650–700 гг.), а с 900 г. берега рек снова стали сухими (1150, 1450–1550 гг.). С 1970 г. влажность в бассейне Аральского моря неуклонно снижалась [8].

В VII и XIII веках в бассейне Аральского моря отмечался упадок ирригационного земледелия, который связывали обычно с нашествием арабов и монголов. Однако новейшие исследования специалистов из Амстердамского свободного университета (изучение археологических памятников и анализ мощностей аллювиальных осадков) показали, что задолго до набегов кочевников здесь уже происходило обмеление рек и запустение оросительных каналов, связанное с наступлением длительных засух. В VIII–IX веках сократилось количество дождей, что привело к понижению уровня воды Арала, а с IX по XIV вв. его бассейн испытывал недостаток влаги [9].

Море за последующие несколько столетий не испытывало серьезных изменений. Во второй половине XVI в. воды Амудары в основном текли в Аральское море, и прежний путь по Узбою прекратился. Арал на последующие века обрел статус моря лишь с небольшими (до 3 м) колебаниями уровня, связанными с климатическими циклами. До 1960 г. уровень Аральского моря был довольно высоким и стабильным, однако с 1960 г. началось его усыхание с падением уровня воды в 1961–1963 гг. со скоростью 18–25 см/год, а с 1970 г. – до 70–100 см/год и деградация озера. Такое резкое падение уровня Арала [10] объясняется техногенным возмущением недр (подземные ядерные взрывы в сочетании с другими видами техногенного вмешательства в недра Арало-Каспийского региона, которые спровоцировали подземное дренирование вод Арала в Каспий под плато Устюрт, а также вызвали фильтрационный перехват стока рек Амудары и Сырдарьи на подступах к Аралу). Другое объяснение усыхания Арала связано с забором воды из Амудары и Сырдарьи для орошения хлопковых полей (климатический фактор можно исключить, т.к. в эти годы было относительно влажно). Влияние антропогенных факторов на понижение уровня озера превысило 70%.

С 1974 г. на орошение стали забирать все больше воды, поэтому сток в море резко уменьшился, что ускорило процесс его высыхания. К концу 1970-х годов море отступило от портов Аральск и Муйнак. В 1982, 1983 и 1985 годах в Арал фактически не поступила ни одна капля воды из рек. К 1989 г. единый водоем распался на Большой и Малый Арал, а площадь моря сократилась до 40 000 км<sup>2</sup> (от 67 499 км<sup>2</sup> в 1960 г.), объем уменьшился до 333 км<sup>3</sup> (в 1960 г. – 1089 км<sup>3</sup>), соленость возросла до 30 г/л. Большой Арал после отделения стал быстро мелеть и к концу 1990-х годов соленость воды в нем составила 57 г/л. В 2003 г. Большой Арал распался на восточную и западную части, соединенные узким проливом [11] (рис. 1).

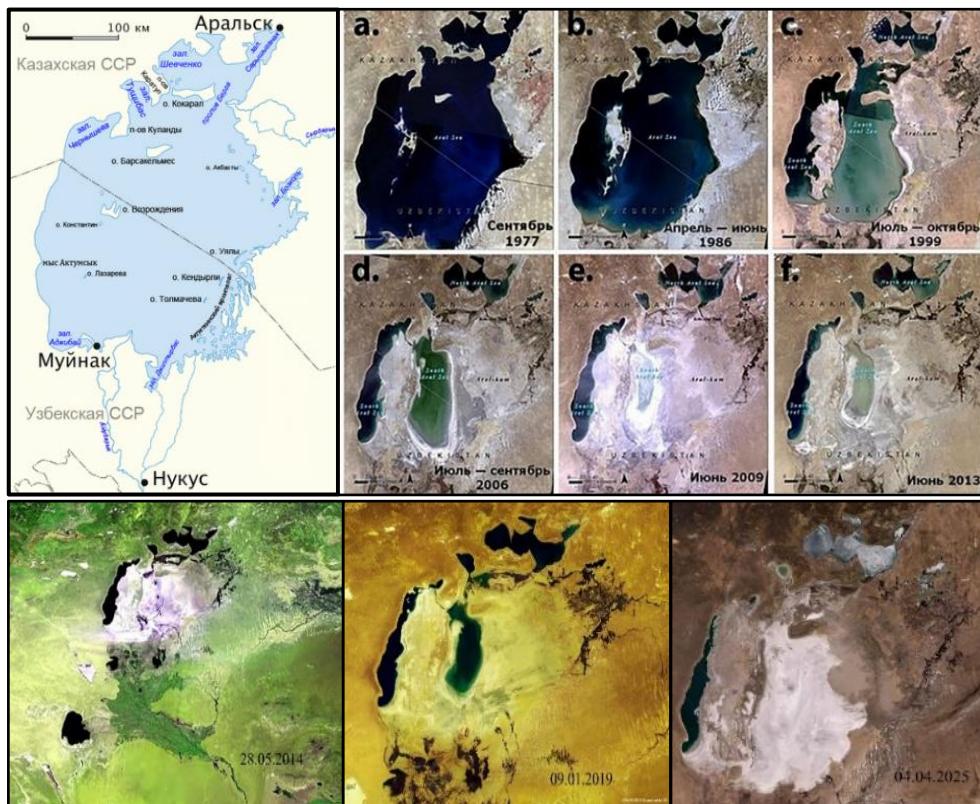


Рис. 1. Стадии усыхания Аральского озера: карта 1960 г. и состояние озера с 1977 по 2025 г.

В мае 2009 г. Восточное Аральское море полностью высохло. До его высыхания соленость воды в нем составляла 200 г/л, а в Западном – 100 г/л. Почти полное исчезновение Большого (Южного) Арала стало катастрофой для Средней Азии. Ведь на его месте в настоящее время сформировалась новая пустыня Аккум (Аралкум) [11] (рис. 2, 3).



Рис. 2. Высохшее дно озера.

Рис. 3. Кладбище кораблей на засоленном дне озера.

Последствия весьма плачевые – уровень Арала упал уже более чем на 27 м, вода отступила от берегов на 70–110 км, море распалось на мелкие плесы,

тысячи квадратных километров его бывшего дна подверглись опустыниванию, для борьбы с которым уже потребовалось отчленить Северный Арал дамбой Кок-Арал. Огромное количество солей (до 75–100 млн т в год) и тонкой пыли с примесями ядохимикатов разносятся на большие расстояния, вплоть до Европы и Северного Ледовитого океана, а высота подъема пылевых частиц составляет почти 4 км [11] (рис. 4).



Рис. 4. Облако пыли над высохшим Аральским морем.

От насыщенности воздуха солью и ядохимикатами уничтожается растительность, замедляется развитие сельскохозяйственных культур. Среди местного населения широко распространены разные болезни, увеличилась детская и материнская смертность. В пределах 100 км от прежней береговой линии Аральского моря изменился и климат, он стал более континентальным. В окрестностях озера максимальная температура воздуха стала достигать 60°C. Больше повезло Северному Аралу, который в 2005 г. отгородили Кокаральской плотиной (высота – 6 м, ширина – около 300 м, длина – 13 км) от Южного Арала, где скапливаются оставшиеся после забора на орошение воды Сырдарьи. В 2023 г. в Северный Арал поступило более 1,5 млрд м<sup>3</sup> воды. Уровень воды повысился более чем на 10 м, понизились соленость и минерализация воды [12].

**Озеро Чад** – бессточное реликтовое озеро, расположенное в одном из самых засушливых мест нашей планеты, в центральной Африке, на границе четырех государств: Чада, Камеруна, Нигера и Нигерии. Это реликтовое озеро существует здесь миллионы лет. При очень редких аномальных повышениях уровня озера формируется сток по руслу реки Бахр-эль-Газаль. Озеро расположено в южной части обширной впадины Боделе на абсолютной высоте около 240 м. Современное озеро представляет собой остаток более крупного древнего водоема Палеочада (*Мегачада*) площадью 300–400 тыс. км<sup>2</sup>. Очертания древней береговой линии Мегачада сохранились в пустыне и хорошо заметны на снимках из космоса, полученных спутником Landsat-8, и радарных измерений, выполненных Space Shuttle. Озеро не имеет четких очертаний

берегов, во многих местах берега обрамляются полу затопленными дюнами или сильно заболочены, при этом размеры болот постоянно меняются. Пресная вода имеется только около устьев впадающих в озеро рек, а на остальной части водоема она солоноватая. Низкая соленость воды фактически в бессточном озере, которое расположено рядом с пустыней, объясняется наличием у него подземного стока инфильтрационных вод на СВ, в сторону котловины Боделе, а также процессом кристаллизации солей [13–15].

По данным радиоуглеродного датирования, за последние 12 тыс. лет площадь озера трижды резко возрастила, а 7 тыс. лет назад, при максимальном уровне воды, оно было связано с Атлантическим океаном через цепочку рек. За последнее тысячелетие озеро высыхает уже в седьмой раз. До 60-х годов XX в. площадь озера колебалась в пределах от 10 до 26 тыс.  $\text{km}^2$  в зависимости от притока воды из питающих его рек. Однако потом началось резкое обмеление озера и уменьшение его площади к 2005 г. до 1350  $\text{km}^2$  [16] (рис. 5).

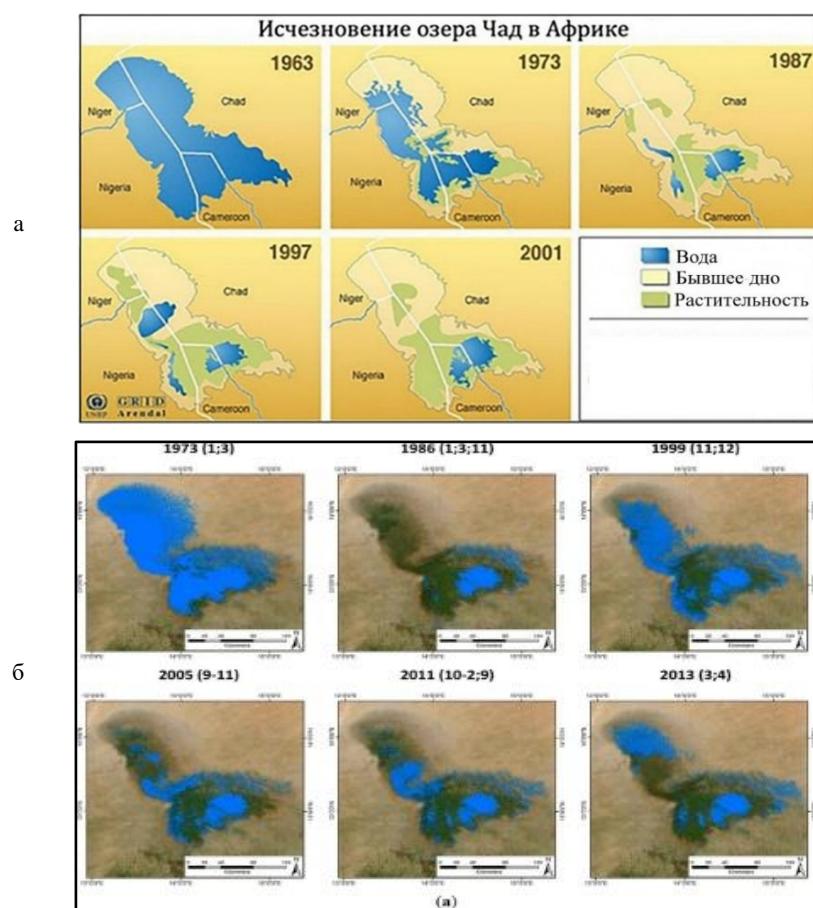


Рис. 5. Уменьшение водной поверхности в озере Чад с 1963 по 2013 гг.:  
а) карта; б) космические снимки.

Средняя глубина составляет 1,5–2 м, максимальная – 10–11 м, площадь бассейна около 1 млн  $\text{km}^2$ , из которых около 700 тыс.  $\text{km}^2$  приходится на

бассейн р. Шари. Амплитуда колебаний уровня озера составляет 0,6–0,8 м, но во влажные годы может возрасти до 2 м и более. Среднее количество атмосферных осадков в бассейне озера составляет 200–500 мм в год [17].

Усыхание некогда огромного водоема за последние десятилетия представляет собой единый процесс, связанный с изменением климата на нашей планете, которое наиболее резко проявилось в засушливых регионах и, отчасти, в регионе оз. Чад. Так, если еще в 1960 г. оно по своим размерам занимало 6 место в мире, то за период 1963–1990 гг. его объем сократился на 90% из-за сильных засух. Есть и утверждение о полном высыхании озера в XVI в. [18, 19]. А дальше свою лепту внесло местное население и его негативное воздействие на природу. Засуха вызвала обмеление рек, и одновременно резко возрос забор воды из рек и озера, усилилась почвенная эрозия вследствие уничтожения древесной растительности (здесь распространена огневая система земледелия) и чрезмерного выпаса скота. Нагрузка на озеро оказалась чрезмерно высокой, поэтому началось катастрофическое обмеление. Этому способствовала и многолетняя засуха, охватившая Сахель и другие районы Африки.

Региону оз. Чад угрожают высокие температуры, сухой воздух, тепловой дискомфорт. Температура здесь растет в 1,5 раза быстрее, чем в среднем по миру. Отсюда – более длительные засушливые сезоны и высыхание озерных экосистем [20]. В центральном Сахеле отмечаются многодесятилетние чередующиеся влажные и сухие периоды. В 2022 г. обильные дожди выше обычной нормы вызвали наводнения по всему Сахелю, а также региону озера Чад, в котором это наводнение было самым сильным с 1960-х годов [21].

**Озеро Урмия** расположено примерно в 300 км к западу от Каспийского моря, на крайнем СЗ Ирана и со всех сторон окружено горами. Слоны гор близко подходят к самому берегу озера в основном на западе, а на остальных участках, особенно на юге и СВ, озеро окаймлено болотами и солончаками. По состоянию на конец 1980-х годов XX в. Урмия представляла собой шестое по размерам соленое озеро на планете: площадь зеркала воды 5960–5200 км<sup>2</sup>, площадь водосборного бассейна 57 000 км<sup>2</sup>, максимальная глубина 16 м, объем 45 км<sup>3</sup>, высота уровня воды 1275 м [22].

Урмия – озеро тектонического происхождения. Оно сформировалось в позднем плиоцене–плейстоцене и, по всей вероятности, в плейстоцене имело связь с бассейном Каспийского моря. Имеются сведения о наличии плейстоценовых террас на высотах 30, 60–65, 80–85 и 115 м над современным уровнем озера и абсолютных высотах стояния воды в 1800, 1650–1550 и 1500–1360 м [23], которые могут представлять собой береговые линии древнего водоема. А при уровне в 1570 м озеро должно было иметь сток в бассейн р. Аракс через перевал Каратепе (1548 м) на СЗ и далее через равнину у города Хой.

Анализ космического снимка и топографической карты бассейна озера позволил восстановить контуры ПалеоУрмии при высоте уровня воды в 1570 м. Выяснилось, что в этом случае площадь озера была почти в два раза больше, чем в 80-х годах XX в., и палеоозеро действительно могло иметь сток в р. Аракс и далее связь с Каспийским морем (рис. 6) [24].

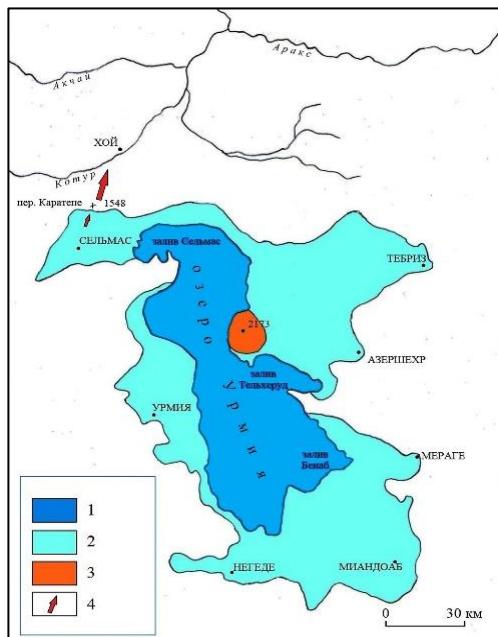


Рис. 6. Озеро Урмия:

- 1 – до начала резкого спада уровня;
- 2 – палеоозеро;
- 3 – потухший вулкан Чибухлу;
- 4 – место и направление стока вод палеоозера в бассейн р. Аракс [24].

Достоверность нашего утверждения доказывается и наличием в водах Урмии общих с иранским побережьем Каспийского моря видов ихтиофауны (*Leuciscus cephalus*, *Barbus lacerta*, *Gobio persus*, *Capoeta capoeta*, *Alburnoides bipinnatus*, *Silurus glanis* и *Acantholburnus urmianus*). При этом связь с Каспийским морем была дважды: первая – в плиоцене до раннего плейстоцена (это отразилось в эндемичных типах), и вторая – в позднем плейстоцене. Затем котловина озера опустилась и связь с Араксом прервалась [23].

За время существования озера его уровень менялся в широких пределах, достигающих нескольких сотен метров, что доказывается наличием на его берегах озерных террас. Эти колебания были связаны не только с тектоническими причинами, но и с изменениями климата. Колебания уровня озера (в пределах от 20 до 50–60 см) отмечались и в течение XIX–XX вв. и были связаны с температурным режимом и режимом осадков в бассейне озера и его окрестностей [25].

С 1996 г. уровень озера стал постепенно понижаться, а с 1998 г. вследствие сильной засухи началось резкое снижение уровня и катастрофическое усыхание озера [26–28]. В период 1997–2006 гг. годовое количество осадков уменьшилось на 40 мм, а температура воздуха возросла на 0,18°C за декаду, испарение увеличилось на 6,2 мм в декаду. Но еще до засухи на усыхание озера повлияло нерачительное использование поверхностных и подземных вод, сооружение на реках более 40 малых ГЭС, строительство моста через озеро и др. [29–34]. В августе 2011 г. площадь водной поверхности озера составляла 2366 км<sup>2</sup> (рис. 7), а в 2013 г. она сократилась до катастрофической величины в 700 км<sup>2</sup> [35]. К 2015 г. озеро потеряло около 80% своих водных запасов [36]. Такое резкое снижение уровня озера отмечалось впервые за последние 100 лет [37, 38].



Рис. 7. Космические снимки, показывающие усыхание озера (фото из Интернета).

К сентябрю 2020 г. озеро несколько восстановилось в ходе 10-летней программы, разработанной Правительством Республики Иран в 2013 г., хотя основное значение все же имели обильные осадки, выпавшие в этот же период в бассейне водоема. Однако затем начался новый период засухи и уровень воды снова стал понижаться и уже в сентябре 2023 г. озеро практически превратилось в гигантский солончак (рис. 8).



Рис. 8. Спутниковые снимки от сентября 2020 г. (слева – соль имеется только по краям озера) и сентября 2023 г. (справа – вся площадь озера покрыта солью) (фото NASA из интернета).

На снимке, полученном спутником ESA Sentinel-29 сентября 2025 г. виден низкий уровень воды в оз. Урмия (рис. 9). Если озеро полностью высохнет, на его месте останется около 10 млрд *m*<sup>3</sup> соли, ветер поднимет соляную пыль, ухудшится качество воздуха и около 14 млн человек вынуждены будут покинуть свои дома. Бассейн озера превратится в соляную пустыню.

В последние годы появилось много публикаций относительно значительной роли антропогенного фактора в высыхании озера Урмия, результатов моделирования засухи и анализа трендов температуры и осадков в бассейне озера, причин усыхания озера, прогноза изменения водного режима до 2030 г. и др. [39–46].



Рис. 9. Ситуация на озере Урмия на 25.09.2025 (фото) [47].

**Выводы.** Анализ опубликованных данных по Аралу и оз. Чад показал, что их современное усыхание не является чем-то новым. Их уровень неоднократно резко понижался при сильных засухах на достаточно длительное время, а во влажные периоды они снова восстанавливались. Современное их усыхание началось с 1960-х годов и развивается по сходному сценарию. Оз. Урмия свой доисторический объем потеряло вследствие тектонического опускания его котловины в конце позднего плейстоцена. А в новейшее время колебания его уровня были связаны в основном с изменениями климатических условий. Нынешнее усыхание всех трех озер совпало с новым сухим климатическим циклом, на который наложилось антропогенное воздействие, которое привело к катастрофическим последствиям. Спасти озера может только полный отказ от использования речного стока для сельскохозяйственных целей. Озера постепенно восстанавливаются при влажном климатическом цикле, который может прийти на смену теперешнего сухого цикла.

Поступила 20.10.2025  
Получена с рецензии 03.12.2025  
Утверждена 25.12.2025

#### ЛИТЕРАТУРА

1. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Глобальное\\_потепление](https://ru.wikipedia.org/wiki/Глобальное_потепление)
2. Battisti D., Naylor. Historical Warnings of Future Food Insecurity with Unprecedented Seasonal Heat. *Science Journal* **323** (2009), 240–244.  
<https://doi.org/10.1126/science.1164363>
3. Анисимов О., Лавров С. *Глобальное потепление и таяние вечной мерзлоты: оценка рисков для производственных объектов ТЭК РФ*. Государственный гидрологический институт, ЗАО “ЭКОПРОЕКТ”, Санкт-Петербург (2004).
4. <https://www.ebsco.com/research-starters/earth-and-atmospheric-sciences/deserts-and-climate-change>
5. Маев Е.Г. Происхождение котловины и рельеф Аральского моря. *Вестник МГУ. География* (2000), 57–62.
6. Свиточ А.А. История последнего Аральского моря. *Аридные экосистемы* **15**, (2009), 5–17.
7. Амирбеков У.А., Зонн И.С. *Арал: история исчезающего моря*. Душанбе (2003), 86.
8. Oberhansli H., Boroffka N., et al. Climate Variability During the Past 2000 Years and Past Economic and Irrigation Activities in the Aral Sea Basin. *Irrig. Drainage Syst.* **21** (2007), 167–183.  
<https://doi.org/10.1007/s10795-007-9031-5>

9. Щербина Е. Изменение климата поспособствовало разрушению ирригационных систем в средневековой Средней Азии. *Археология. Экология и климат* (2020).  
<http://nplus1.ru/news/2020/12/15/monogls-and-climate>
10. Голубов Б.Н. Аномальный подъем уровня Каспийского моря и катастрофическое обмеление Аральского моря как результат дrenирования Араля под плато Устюрт и в Каспий вследствие техногенных возмущений недр. *Электронное научное издание Альманах. Просстранство и Время* **16** (2018).  
<https://doi.org/10.24411/2227-9490-2018-11072>
11. *Аральское море и Приаралье*. Ташкент, Изд-во “Бактрия” (2017), 113.
12. <https://sudohodstvo.org/kak-pogibalo-aralskoe-more>
13. Leblanc M., Favreau G., et al. Reconstruction of Megalake Chad Using Shuttle Radar Topographic Mission Data. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **239** (2006), 16–27.  
<https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2006.01.003>
14. Get rights and contentDrake N., Bristow Ch. Shorelines in the Sahara: Geomorphological Evidence for an Enhanced Monsoon from Palaeolake Megachad. *The Holocene* **16** (2006), 901–911.  
<https://doi.org/10.1191/0959683606hol981rr>
15. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Озеро\\_Чад](https://ru.wikipedia.org/wiki/Озеро_Чад) – Аральское море Африки.  
<https://dzen.ru/a/Y3GiUvcm4H8BnwHZ>
16. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Озёра-Чада>
17. <https://onewater.blue/ru/article/speaking-in-volumes-the-dispute-of-lake-chads-disappearance-b0ffbf4>
18. Remi J., Federico H., et al. The Effects of Climate Change in the Poorest Countries: Evidence from the Permanent Shrinking of Lake Chad. *IZA Discussion Paper* (2023), 16396.  
<https://ssrn.com/abstract=4547701>
19. Okpara U.T., Yunus S. The Nexus of Climate and Conflict in the Lake Chad Region: What We Know, Don’t Know and Need to Know. *Climatic Change* (2025), 178–185.  
<https://doi.org/10.1007/s10584-025-04024-0>
20. Sylvestre et al. Strengthening of the Hydrological Cycle in the Lake Chad Basin under Current Climate Change. *Scientific Reports* **14** (2024), 24639.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-024-75707-4>
21. <https://wldb.ilec.or.jp/Lake/ASI-285#top>
22. Fresh water Fishes of Iran. Introduction – Drainage Basins – Lake Urmiah (2005).  
<http://www.briancoad.com/Introduction/lakeorumiyehtbasin.htm>
23. Бойнагрян В.Р. Озеро Урмия: его прошлое и настоящее. *Ученые записки ЕГУ* **54** (2020), 167–177.  
<https://doi.org/10.46991/PYSU:C/2020.54.3.167>
24. Бойнагрян В.Р. *Озера Армянского нагорья*. Ереван, Изд-во ЕГУ (2007), 144.
25. <https://iranicaonline.org/atticles/urmia-lake>
26. Hanieh M., Keivan K., et al. Analysis of Trend and Detection of Change Points in Lake Urmia Level and Climatological Parameters Using Software. *Water Harvesting Research* **7** (2024), 220–233.  
<https://doi.org/10.22077/JWHR.2024.8075.1151>
27. Kakahaji H., Banadaki H.D., et al. Prediction of Urmia Lake Water-level Fluctuations by Using Analytical, Linear Statistic and Intelligent Methods. *Water Resources Management* **27** (2013), 4469–4492.  
<https://doi.org/10.1007/s11269-013-0420-2>
28. Ghadimi M., Nezammahalleh M.A., Construction of a Causeway Bridge Across Lake Urmia and Its Influence on the Drying Trend of the Lake. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science* **40** (2015), 211–213.  
<https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-1-W5-211-2015>
29. Soudi M., Ahmadi H., et al. Sustainable Restoration of the Urmia Lake: History, Threats, Opportunities and Challenges. *European Water* **60** (2017), 341–347.
30. Bashirian F., Movahedi S., Rahimi D. Investigating Trend of Water Level Changes in Urmia Lake (1984–2017). *Journal of Radar and Optical Remote Sensing and GIS* **4** (2021), 33–40.
31. Hassanzadeh E., Zarghami M., Hassanzadeh Y. Determining the Main Factors in Declining the Urmia Lake Level by Using System Dynamics Modeling. *Water Resources Management* **26** (2012), 129–145.  
<https://doi.org/10.1007/s11269-011-9909-8>
32. Pengra B. The Drying of Iran’s Lake Urmia and Its Environmental Consequences. UNEP-GRID, Sioux Falls, UNEP Global Environmental Alert Service (GEAS) (2012).

33. Alizadeh-Choobari O., Ahmadi-Givi F., et al. Climate Change and Anthropogenic Impacts on the Rapid Shrinkage of Lake Urmia. *International Journal of Climatology* **36** (2016), 4276–4286. <https://doi.org/10.1002/joc.4630>
34. Delju A.H., Ceylan A., et al. Observed Climate Variability and Change in Urmia Lake Basin, Iran. *Theoretical and Applied Climatology* **111** (2013), 285–296. <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0651-9>
35. Иран спасает от высыхания озеро Урмия. Новости-Армения 14 июля 2016. <http://newsarmenia.am/news/society/iran-spasaet-ot-vysykhaniya-ozero-urmiya>
36. Dehghanipour A.H., Moshir-Panahi D., et al. Effects of Water Level Decline in Lake Urmia, Iran, on Local Climate Conditions. *Water* **12** (2020), 21–53. <https://doi.org/10.3390/w12082153>
37. Golabian H. Urmia Lake: Hydro-Ecological Stabilization and Permanence. *Macro Engineering and Seawater in Unique Environments* (2010), 365–397. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-14779-1-18>
38. Kazemi Garajeh M., Akbari R., et al. A Comprehensive Assessment of Climate Change and Anthropogenic Effects on Surface Water Resources in the Lake Urmia Basin, Iran. *Remote Sensing* **16** (2024), 1960. <https://doi.org/10.3390/rs16111960>
39. Bazzaza P.M., Sadeghfam S., et al. A Drought Study in the Basin of Lake Urmia under Climate Change Scenarios with Higher Spatial Resolution to Understand the Resilience of the Basin. *Journal of Water and Climate Change* **15** (2024), 453. <https://doi.org/10.2166/wcc.2024.407>
40. Mehri Shams Ghahfarokhi, Sogol Moradian. Investigating the Causes of Lake Urmia Shrinkage: Climate Change or Anthropogenic Factors? *Journal of Arid Land* **15** (2023), 424–438. <https://doi.org/10.1007/s40333-023-0054-z>
41. Rahimi A., Breuste J. Why is Lake Urmia Drying up? Prognostic Modeling with Land-Use Data and Artificial Neural Network. *Frontiers in Environmental Science* **9** (2021), 603916. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.603916>
42. Ahmadi H., Mousavi B.S., et al. Spatiotemporal Forecasting of Water Change Trends in Urmia Lake through to 2030, Using STC-based Models. *Hydrological Sciences Journal* **69** (2024), 1631–1651. <https://doi.org/10.1080/02626667.2024.2383879>
43. Radmanesh F., Esmaili-Gisavandani H., Lotfirad M. Climate Change Impacts on the Shrinkage of Lake Urmia. *Journal of Water and Climate Change* **13** (2022), 2255–2277. <https://doi.org/10.2166/wcc.2022.300>
44. Rezapouraghdam H., Hidalgo-Garcia D., Karatepe O.M. Rising Temperatures and Sinking Hopes: An in-depth Analysis of the Interplay between Climate Change, Land Use Patterns, and the Desiccation of a Global Biosphere Reserve. *Environmental Development* **52** (2024), 101084. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2024.101084>
45. Mousavi, H.; Dehghanipour, A.H.; Ferreira, C.S.S.; Kalantari, Z. Investigating the Impact of Large Lakes on Local Precipitation: Case Study of Lake Urmia, Iran. *Water* **16** (2024), 1250. <https://doi.org/10.3390/w16091250>
46. Mahsafar H., Maknoon R., Saghafian B. The Impact of Climate Change on Water Level of Urmia Lake. *Research in Marine Sciences* (2017), 83–94.
47. <https://www.kurdistan24.net/en/story/871418/drying-lake-urmia-puts-15-million-people-at-risk>

Վ. Ռ. ԲՈՅՆԱԳՐՅԱՆ, Ա. Ա. ԱՅՐԻՅԱՆՑ

ԼՃԵՐԻ ԶԱՐԳԱՑՄԱՆ ԴԻՆԱՄԻԿԱՆ ԶՈՐԱՅԻՆ ՏԱՐԱԾՔՆԵՐՈՒՄ՝  
ՊԱՅՄԱՆԱՎՈՐՎԱԾ ԿԼԻՄԱՅՑԻ ՓՈՓՈԽՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ՄԱՐԴԱՅԻՆ  
ԳՈՐԾՈՒՆԻ ԱՉԴԵՑՈՒԹՅԱՄԲ

### Ամփոփում

Կյիմայի ժամանակակից փոփոխությունները նպաստել են Արայան ծովի (լճի) և Զադ ու Ուրմիա լճերի չորացմանը: Առաջին երկու լճերը բազմից

կտրուկ կորցրել են իրենց ջրի ծավալը ուժեղ երաշտների ժամանակ, իսկ խոնավ ժամանակ կրկին վերականգնվել են: Բացահատվել են դրանց ավագաններում ուժեղ երաշտների և խոնավացման ժամանակաշրջաններ: Դրանց ժամանակակից չորացումը սկսվել է 1960-ական թվականներից և զարգանում է նմանատիպ սցենարով: Ուրմիա լիճն իր նախապատմական ծավալը կորցրել է իր գոգավորության տեկտոնական իջեցման հետևանքով՝ ուշ պլեիստոցենի վերջում: Իսկ նորագույն ժամանակներում նրա մակարդակի տատանումները հիմնականում կապված են կիմայական պայմանների փոփոխությունների հետ: Բոլոր երեք լճերի ներկայիս չորացումը համընկել է նոր չոր կիմայական ցիկլի հետ, որին գումարվել է մարդածին ազդեցությունը, ինչը հանգեցրել է աղետալի հետևանքների: Լճերը կարող են փրկվել միայն այն դեպքում, եթե մարդը անբողջությամբ կիրաժարվի գյուղատնտեսական նպատակներով գետի հոսքի օգտագործումից: Լճերն աստիճանաբար կվերականգնվեն խոնավ կիմայական ցիկլի ընթացքում, որը կարող է փոխարինել ներկայիս չոր ցիկլին:

V. R. BOYNAGRYAN, A. A. AYRIYANTS

## DYNAMICS OF LAKE DEVELOPMENT IN ARID REGIONS DUE TO CLIMATE CHANGE AND IMPACTS OF ANTHROPOGENIC FACTOR

### Summary

Contemporary climate change has precipitated the desiccation of the Aral Sea (Lake) as well as Lakes Chad and Urmia. The first two lakes repeatedly sharply lost their water volume during severe droughts for quite a long time, and during wet periods they recovered again. Periods of severe droughts and humidification of their basins have been identified. Their current desiccation began in the 1960s and is developing according to a similar scenario. Lake Urmia lost its prehistoric water volume due to the tectonic subsidence of its basin at the end of the Late Pleistocene. In more recent times, fluctuations in its level have been mainly associated with changes in climatic conditions. The current desiccation of all three lakes coincided with a new dry climate cycle, which was superimposed by anthropogenic impact, that have culminated in catastrophic consequences. The lakes can be saved only by completely abandoning the use of river runoff for agricultural purposes. The lakes will gradually recover during the wet climate cycle, which may replace the current dry phase.