



Изменение границ акватории озера Кулундинское, июнь 2021 г.

Водный режим озера Кулундинское Алтайского края за последние 20 лет: гидрологические, гидрохимические и экологические аспекты

<https://doi.org/10.36038/0131-6184-2025-3-83-91>
EDN: XUMPMF

Обзорная статья
УДК 528.854

Лукерина Галина Валерьевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории гидробиологии, Барнаул, Россия;
E-mail: lukerina@altai.vniro.ru

Лукерин Алексей Юрьевич – заведующий лаборатории ихтиологии, Барнаул, Россия;
E-mail: lukerin@altai.vniro.ru

Алтайский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («АлтайНИРО»)

Адрес: Россия, 656056, г. Барнаул, ул. Баварина, 2

Аннотация. В работе приводятся результаты анализа космоснимков, полученных спутниками Landsat-7, Landsat-8 и Sentinel-2B по площади водной поверхности озера Кулундинское Алтайского края в период 2005-2024 годов. Площадь озера изменялась в пределах 15% (609-720 км²). Флуктуация площади водной поверхности зависит от степени увлажненности в предыдущие 2-4 года и обуславливает межгодовые изменения солености воды ($r_{xy} = -0,645$). Соленость озера Кулундинское имеет внутри- и межгодовые колебания в пределах 35% и 55%, соответственно. Площадь озера и соленость воды имеют зависимость, близкую к линейной ($y = -0,7082x + 747,61$). Комплекс данных позволил выделить многоводные годы с пониженной соленостью воды (2005-2008, 2010-2011, 2018-2021, 2024) и засушливый период с повышенной соленостью (2009, 2012-2017, 2022-2023). Гидрохимический режим определяет состояние биоты озера Кулундинское, которое относится к промысловым водоемам для осуществления промышленного рыболовства артемии (на стадии цист).

Фотографии: Г.В. Лукерина

Ключевые слова: гипергалинное озеро, спутниковые наблюдения, геоинформационная система QGIS, площадь поверхности, соленость, артемия

Для цитирования: Лукерина Г.В., Лукерин А.Ю. Водный режим озера Кулундинское Алтайского края за последние 20 лет: гидрологические, гидрохимические и экологические аспекты // Рыбное хозяйство. 2025. № 3. С. 83–91. <https://doi.org/10.36038/0131-6184-2025-3-83-91>

THE WATER REGIME OF KULUNDINSKOYE LAKE IN THE ALTAI TERRITORY OVER THE PAST 20 YEARS: HYDROLOGICAL, HYDROCHEMICAL AND ENVIRONMENTAL ASPECTS

Galina V. Lukerina – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher of the Laboratory of hydrobiology, Barnaul, Russia

Alexey U. Lukerin – Head of the Laboratory of ichthyology, , Barnaul, Russia

Altai Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution VNIRO (AltaiNIRO)

Address: Russia, 656056, Barnaul, st. Bavarina, 2

Annotation. The paper presents the results of an analysis of satellite images obtained by the Landsat-7, Landsat-8 and Sentinel-2B satellites on the water surface area of Kulundinskoe Lake in the Altai Territory in 2005-2024. The lake area varied within 15% (609-720 km²). The fluctuation of the water surface area depends on the degree of moisture in the previous 2-4 years and causes interannual changes in water salinity ($r_{xy} = -0,645$). The salinity of Kulundinskoe Lake has intra- and interannual fluctuations in the range of 35% and 55%, respectively. The lake area and water salinity have a close to linear relationship ($y = -0,7082x + 747,61$). The data set allowed us to identify high-water years with low salinity (2005-2008, 2010-2011, 2018-2021, 2024) and a dry period with high salinity (2009, 2012-2017, 2022-2023). The hydrochemical regime determines the state of the biota of Kulundinskoe Lake, which belongs to commercial reservoirs for commercial fishing of artemia (at the stage of cysts).

Keywords: hyperhaline lake, satellite observations, geographic information system QGIS, surface area, salinity, Artemia

For citation: Lukerina G.V., Lukerin A.Yu. (2025). The water regime of Kulundinskoye Lake in the Altai Territory over the past 20 Years: Hydrological, Hydrochemical and environmental Aspects. // Fisheries. No. 3. Pp. 83–91. <https://doi.org/10.36038/0131-6184-2025-3-83-91>

Рисунки и таблица – авторские / The drawings and table were made by the author

ВВЕДЕНИЕ

Экосистемы минерализованных озер играют важную роль в биосфере Земли, как местообитание многих видов микро- и макроорганизмов, служат источником минеральных солей и удобрений, используются в рекреационных и бальнеологических целях, а также представляют научный интерес, как экстремальная среда обитания [1-5]. Бессточные соленые озера – надежные и долгосрочные индикаторы периодов увлажнения и засухи их бассейна [3; 5; 7]. Водный баланс соленых озер напряженный, вследствие климатических изменений, а также – сокраще-

ния объема притока (поверхностного и подземного) [8].

Наиболее значительные исследования уровня воды озер Обь-Иртышского междуречья проведены А.В. Шнитниковым (1957) и Л.А. Орловой (1990); составляющие водного баланса озер Кучукское и Кулундинское были оценены А.М. Догановским [6].

Озеро Кулундинское – крупнейший минерализованный водоем юга Западной Сибири. Уровень солености воды в нем (40-132 г/дм³) позволяет развиваться популяции жаброногого рачка артемии (*Artemia* Leach, 1819), цисты которого – ценный биоресурс, а озеро относит-

ся к промышленным водоемам [2; 9]. Физические и химические свойства соленой воды делают их полиэкстремальными для биоты [4], а сезонные и межгодовые колебания уровня воды играют значительную роль в изменении продуктивности водоема [10].

В настоящее время наземное оценивание гидрологических характеристик оз. Кулундинское не представляется возможным, ввиду отсутствия стационарного геодезического пункта наблюдения. Одним из наиболее доступных вариантов оценки площади является применение данных дистанционного зондирования земли (ДЗЗ). Этот способ имеет высокий уровень репрезентативности, активно используется для мониторинга водных объектов и их береговых линий [11-14]. Кроме того, спутниковые исследования соленых озер позволяют дистанционно отслеживать скопления артемии и оценивать ее биомассу [15; 16]. Однако имеющиеся работы по динамике площади оз. Кулундинское за последние 30 лет по спутниковым картам служат, прежде всего, для оценки периодов засухи и флуктуации площади [7]. Эти материалы оторваны от натурных данных и не отражают экологическое состояние биоценоза озера, в зависимости от колебания уровня воды. С другой стороны, предполагаются четкие границы фаз водности по колебаниям солености без гидрологических и метеорологических подтверждений [5; 17].

Цель работы – оценить по спутниковым данным динамику площади оз. Кулундинское с 2005 по 2024 гг. в совокупности с периодическим изменением гидрохимического режима водоема и его биологических показателей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Район расположения оз. Кулундинское – юг Западной Сибири, в пределах Кулундинской равнины, в засушливой степной зоне (рис. 1). Озеро мелководное, бессточное, в него впадают реки Кулунда и Суетка. Берега пологие, местами заболоченные, восточное побережье изрезано заливами.

Площадь оз. Кулундинское, по литературным данным [2; 18], составляет 728 км², средние глубины – в пределах 2,6-3,2 м, максимальные – 3,6-4,9 метра. Водный баланс озера складывается из поверхностного и подземно-

го притоков, осадков на поверхность водоема и испарения [8].

В качестве источника информации об изменениях площади оз. Кулундинское использованы данные архива спутниковых снимков Геологической службы США (USGS), находящиеся в свободном доступе. За 2005 г. и период 2008-2024 гг. проведена выборка снимков, полученных спутниками Landsat-7 (2005, 2008-2014 гг.), Landsat-8 (2015-2017, 2023-2024 гг.) и Sentinel-2B (2018-2022 гг.). Изображения отбирались в период максимальной водности (май-июнь), полученные в безоблачную погоду (уровень облачности менее 10%) [19].

Обработка и анализ спутниковых снимков осуществлялись с применением свободно распространяемой программы ГИС QGIS v.3.16. Обработка снимков включала в себя атмосферную коррекцию, построение маски облачности и воды. Для снимков с 2008 по 2014 гг. дополнительно применялся алгоритм восстановления границ водного объекта из-за пропусков данных спутниковой системы Landsat-7 [20]. Отделение водной поверхности от суши осуществлялась с помощью индекса NDWI (нормализованный разностный водный индекс). Индекс NDWI использует видимый зеленый канал (G) и ближний инфракрасный канал (NIR) и рассчитывается по формуле:

$$NDWI = (G - NIR) / (G + NIR)$$

Положительные значения индекса соответствуют водной поверхности. Оценка площади

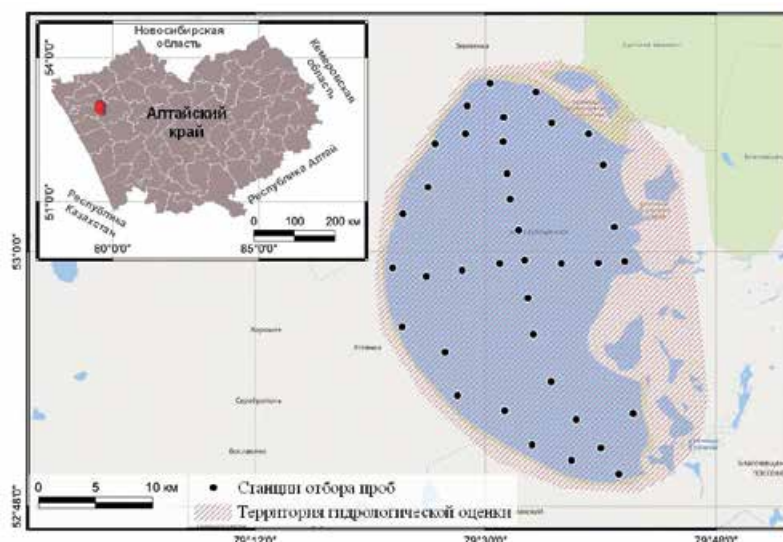


Рисунок 1. Карта расположения озера Кулундинское со схемой станций отбора проб

Figure 1. Location map of Kulundinskoe Lake with a diagram of observation stations

водного зеркала осуществлялась программным методом. Для исключения влияния прочих водных объектов на космоснимке применяли слой-маску, сформированную по водному зеркалу водоема в год максимальной водности с участком прилегающей прибрежной полосы ≈ 300 метров.

Сведения о годовом количестве осадков 2005-2024 гг. в районе расположения оз. Кулундинское получены из Архивов погоды Алтайского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (метеопосты «Степное Озеро» $52^{\circ}46.062'$ с.ш., $79^{\circ}51.048'$ в.д.; 123 м и «Славгород» $52^{\circ}59'$ с.ш., $78^{\circ}39'$ в.д.; 117 м) [21].

Соленость воды, глубины и показатели биоты оз. Кулундинское получены в ходе проведения государственного мониторинга. Периодичность исследований составляла четыре-шесть съемок в течение вегетационного периода. В 2005-2018 гг. исследования провели на мелководных прибрежных участках при объезде водоема на автомобиле по южному, западному и северному побережьям. В 2019-2024 гг. отбор гидробиологического материала осуществили с борта моторной лодки по всей акватории озера (рис. 1). Расположение станций определяли при помощи GPS-навигатора «Navitel C500» (Чехия). Соленость воды измеряли при помощи портативного рефрактометра «Atago Master-S28 M» (Япония).

В качестве экологических и биологических показателей водоема использованы: количе-

ство видов фитопланктона, среднегодовая численность представителей зоопланктона (кроме артемии), выживаемость рачков артемии от науплиусов до взрослой стадии в весенне-летний период, среднегодовая численность рачков артемии, среднегодовая численность цист артемии в толще воды, средняя плодовитость артемии. Показатели определяли согласно методике [22] и формулам [1].

Статистическую обработку материала и построение графиков осуществляли с помощью пакета прикладных программ MS Excel. Рассчитывали среднеарифметическое значение (M), ошибку среднего значения (m), среднее квадратическое отклонение по выборке (σ), коэффициент вариации (Cv), коэффициент корреляции r_{xy} . Достоверность корреляции определяли по таблице критических значений при уровнях значимости $p < 0,1$ (низкая), $p < 0,01$ (значимая), $p < 0,001$ (высокая, значимая). Достоверность различий между выборками оценивали по U-критерию Манна-Уитни (при $p < 0,01$ и $p < 0,001$).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Площадь водной поверхности оз. Кулундинское в 2005-2024 гг. изменялась в пределах $609,7-720,0$ км², максимальная глубина составляла 3,4 м, средние глубины находились в пределах 2,4-2,8 метров. Тенденция сокращения площади наблюдалась с 2012 по 2015 гг., а так-



Пересохшая площадь озера Кулундинское, июнь 2010 г.

же незначительно с 2021 по 2023 годы. Максимальное наполнение озера отмечалось в 2005 и 2024 годы. Изменения границ водной поверхности наглядно отражалось в наибольшей степени на восточном, изрезанном заливами, побережье (рис. 2).

В целом можно сделать вывод о флуктуации наполняемости озера и отсутствии последовательного его усыхания за последние 20 лет, что отмечают и Д.В. Черных с соавторами [7]. Однако, в более длительной перспективе, насчитывающей 300-400 лет, площадь озера значительно сократилась. Согласно данным В.П. Галахова [8], «Кулундинское море», описанное еще П.С. Палласом в 1771 г., имело площадь порядка 2750 км² и объединяло Кучукское, Малое Яровое и множество мелких озер. Изменения водного баланса Кулундинской равнины связывают, прежде всего, с похолоданием в северном полушарии, которое вызвало наступление горных ледников. Более поздние данные [2] указывают минимальную площадь озера в 1936 г. – 615 км², максимальную в 1950 г. – 770 км². Учитывая полученные нами данные, за последние 100 лет максимальная и средняя площади озера сократились в среднем на 6,7%, минимальная – на 1%, что отличается от данных мировых исследований [3; 16]. За последние 140 лет площади многих соленых озер сократились на 40-74%, при этом темпы усыхания некоторых из них (Урмия, Аральское море, Великое Соленое Озеро, Мертвое море) значительно увеличились с 2000 года. Предположение о ключевой роли, в данном случае, масштабного забора воды и строительства дамб подтверждается исследованиями [3; 15; 16]. На Кулундинской равнине

антропогенная нагрузка умеренная, что снижает зарегулированность стока рек, питающих оз. Кулундинское [7].

Корреляционный анализ между площадью и годовой суммой осадков показал наличие слабой достоверной связи ($r_{xy} = -0,457$, $n=18$, $p<0,1$). Сумма осадков каждого конкретного года практически не влияет на изменение площади озера, однако на рисунке 3 заметно относительное смещение максимумов и минимумов суммы осадков и площади на 4 года. Таким образом, на увеличение или сокращение площади акватории влияет предыдущий период с достаточным увлажнением или засушливый. В работе Д.В. Черных с соавторами [7] получены аналогичные результаты, исследователи предполагают влияние предыдущих 2-3 лет.

Годовая сумма осадков колебалась от 206 до 459 мм, наибольшее количество осадков в течение года выпадает в летние месяцы – от 35 мм в засушливый 2012 г. до 294 мм – во влажный 2009 год. Вместе с тем, по данным В.П. Галахова с соавторами [6; 8], именно с июня по август наблюдается наибольшее испарение с поверхности воды соленых озер (от 197,5 до 260,3 мм), а уровень воды летом убывает в среднем на 20,0–22,3 мм. По нашим данным, глубины уменьшались с июня по июль на 5-34 мм. Испарение обусловлено температурным режимом воздуха и ветром [4].

Соленость воды в Кулундинском, как и в большинстве мелководных минерализованных озер, подвержена сезонным изменениям и межгодовой динамике [1; 2; 5]. Наименьшие показатели солености отмечаются весной, после распаления льда и увеличенного поверх-

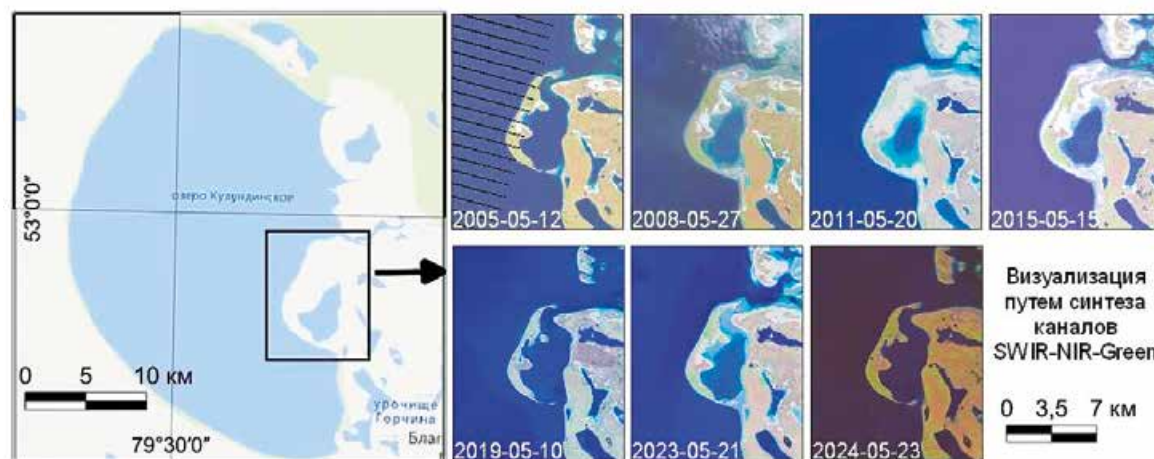


Рисунок 2. Изменение границ о. Осиновый на юго-восточном побережье озера Кулундинское

Figure 2. Changing the boundaries of Osinovy Island on the southeastern coast of Kulundinskoe Lake

ностного стока талых вод. В 2005-2024 гг. сезонный рост солености воды в озере с апреля по октябрь находился в пределах 35%, межгодовые колебания составляли в среднем 55%. Минимальная соленость (30 г/л) отмечалась в мае 2005 г., максимальная (152 г/л) – в августе 2015 года. Коэффициент корреляции между площадью и соленостью достоверный при $p < 0,01$ и составил $r_{xy} = -0,645$ ($n=18$) (рис. 4). Зависимость приближена к линейной и может быть описана уравнением: $y = -0,7082x + 747,61$ ($R^2 = 0,42$). Таким образом, имея натурные данные о солености воды можно оценить площадь оз. Кулундинское с средней ошибкой $\pm 18,4 \text{ км}^2$.



Озеро Кулундинское, апрель 2021 г.

Отсутствующие данные по площади озера за 2006 и 2007 гг., согласно формуле, составляют 688 и 684 км^2 , соответственно.

Для оценки влияния гидрологического и гидрохимического режимов озера на состояние

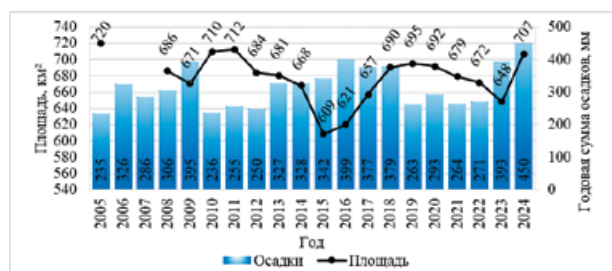


Рисунок 3. Колебания годовой суммы осадков и площади озера Кулундинское

Figure 3. Fluctuations in the annual precipitation and the area of Kulundinskoe Lake



Рисунок 4. Динамика солености воды и площади озера Кулундинское в 2005-2024 годы

Figure 4. Dynamics of water salinity and area of Kulundinskoe Lake in 2005-2024

биоты выделяют многоводные и маловодные фазы [10; 17]. А.В. Шнитников [23] установил продолжительность цикла смены фаз водности в 29-47 лет. Для короткого промежутка времени, исчисляемого двумя десятилетиями, говорить о смене фаз водности многолетних циклов не корректно. В данном случае уместнее использовать понятие периодов повышенной и пониженной увлажненности относительно среднесноголетних показателей. Выделение таких периодов по годовой сумме осадков не дает представления о текущей ситуации на водоеме, так как имеет отложенное влияние.

В 2005-2024 гг. средняя площадь оз. Кулундинское составляла 677,9 км^2 , среднесноголетняя соленость воды – 97,3 г/л. В многоводный период с пониженной соленостью входят годы: 2005-2008, 2010-2011, 2018-2021, 2024. Более засушливые годы с повышенной соленостью воды: 2009, 2012-2017, 2022-2023. Годы 2008, 2012-2013 и 2022 можно считать промежуточными, и включение их в тот или иной период обосновано дальнейшей тенденцией изменения описываемых показателей. Различия между выделенными периодами по солености и площади озера достоверны при $p < 0,001$. Выделенные ранее много-, средне- и маловодные годы по солености воды для регионов Западной Сибири [5] совпадают с нашими данными на 71% (период 2005-2013, 2018 гг.), несоответствия связаны, скорее всего, с погодными особенностями регионов в отдельные годы. По данным Л.В. Весниной с соавторами [17], регрессивная фаза в Алтайском крае наблюдалась в 2006-2013 гг., трансгрессивная – 2019-2022 гг., что на 58% не соответствует результатам текущего исследования. Таким образом, соленость воды является индикатором водности территории, но выделение периодов повышенной/пониженной увлажненности только по этому показателю для относительно больших и глубоководных

озер, таких как Кулундинское и Большое Яровое Алтайского края, не дает корректных результатов.

Снижение видового разнообразия фитопланктона с увеличением солености воды широко освещено в литературе [1; 2; 4; 5; 10 и др.]. Биологические и экологические показатели биоты оз. Кулундинское в засушливые годы с повышенной соленостью воды отличаются большей вариабельностью, по сравнению с многоводным периодом, что свидетельствует о меньшей стабильности условий среды (табл.).

В маловодный период из структуры зоопланктона практически исчезают коловратки, веслоногие и ветвистоусые рачки (тест Манна-Уитни при $p < 0,01$), что характерно и для других минерализованных водоемов [4; 5]. Повышенный уровень солености достоверно способствует увеличению численности цист артемии и образованию их скоплений, что подтверждается критерием Манна-Уитни при $p < 0,05$. Концентрация цист в толще и на поверхности воды обусловлена их гидростатическими свойствами (плавучестью). Экспериментальные исследования показали, что на плавучесть цист влияют соленость и температура воды, ветер, а также – строение оболочек цисты [2; 5]. Можно предположить, что для образования скоплений цист в оз. Кулундинское более благоприятный уровень солености, превышающий 95-100 г/л.

Статистически значимых отличий в разные периоды водности и солености не обнаружено по показателям количества видов фитопланктона, выживаемости артемии от науплиусов до взрослой стадии, плодовитости и численно-

сти артемии. Согласно данным таксономического разнообразия фитопланктона, в оз. Кулундинское в 2001-2020 гг. отмечено 155 видов водорослей из 8 отделов [24]. Как отмечают авторы, каждый конкретный год отличается низким видовым разнообразием (11-47 видов) и качественным составом водорослей, в зависимости от условий окружающей среды.

Уровень солености воды в Кулундинском (30–152 г/л) находится в пределах оптимума для роста и развития артемии (30-250 г/л). Выживаемость науплиусов в весенний период обусловлена температурным режимом, а в летний – достаточным количеством пищевых ресурсов [10; 25]. Таким образом, условия в озере в период 2005-2024 гг. удовлетворяли потребностям популяции артемии, независимо от уровня водности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Площадь оз. Кулундинское за последние 20 лет не проявляет тенденций последовательного сокращения, при этом в более долгосрочной перспективе акватория озера уменьшилась. Водный режим озера обуславливает уровень солености воды – лимитирующий фактор развития биоты. Несмотря на благоприятные условия роста и развития популяции артемии на протяжении последних 20 лет, колебания солености воды отражаются на структуре зоопланктона и активности промышленного рыболовства в отношении артемии (на стадии цист). Для расчета запаса этого ценного биоресурса необходимы актуальные данные по площади озера, что в полной мере удовлетворяет применение данных дистанционного зондирования земли (ДЗЗ).

Таблица. Показатели состояния биоты озера Кулундинское в много- и маловодный периоды, $M+m$ ($Cv, \%$) / **Table.** Indicators of the biota status of Kulundinskoe Lake in high-water and low-water periods, $M+m$ ($Cv, \%$)

Показатель	Период (годы)	
	Многоводный, соленость ниже средней (2005–2008, 2010–2011, 2018–2021, 2024)	Маловодный, соленость выше средней (2009, 2012–2017, 2022–2023)
Количество видов фитопланктона	21,9±2,1 (30,0)	21,3±4,7(58,3)
Выживаемость артемии до взрослой стадии, %	10,9±3,7 (82,3)	9,3±3,6 (95,1)
Плодовитость артемии, экз./особь	39,9±3,6 (28,3)	40,3±4,5 (33,8)
Численность зоопланктона (без артемии), тыс. экз./м ³	79,80±30,05 (124,9)	0,08±0,07 (271,0)
Численность рачков артемии, тыс. экз./м ³	19,51±4,62 (62,6)	28,88±8,57 (83,9)
Численность цист артемии в воде, тыс. экз./м ³	106,49±13,43 (41,8)	176,12±34,20 (54,9)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Вклад в работу авторов: **Г.В. Лукерина** – идея статьи, отбор, обработка и анализ первичных данных, подбор литературы, написание и корректировка текста статьи; **А.Ю. Лукерин** – подготовка, обработка и анализ спутниковых снимков, подбор литературы, корректировка текста статьи.

*The authors declare that there is no conflict of interest. Contribution to the work of the authors: **G.V. Lukerina** – the idea of the article, selection, processing and analysis of primary data, selection of literature, writing and correction of the article; **A.Y. Lukerina** – preparation, processing and analysis of satellite images, selection of literature, correction of the article.*

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Соловов В.П., Студеникина Т.Л. Рачок артемия в озерах Западной Сибири: экология, перспективы хозяйственного использования. Новосибирск: Наука. 1990. 81 с.
2. Соловов В.П., Подуровский М.А., Ясюченя Т.Л. Жаброног артемия: история и перспективы использования ресурсов. Барнаул: ОАО «Алтайский полиграфический комбинат». 2001. 144 с.
3. Wurtsbaugh W. A., Miller C., Null S. E., DeRose R. J., Wilcock P., Hahnenberger M., Howe F., Moore J. Decline of the world's saline lakes // Nature Geoscience. 2017. 10. Pp. 816-821. <http://doi.org/10.1038/NGeo3052>
4. Ануфриева Е.В., Шадрин Н.В. Жизнь в экстремальной среде. Животные в экосистемах гиперсолёных вод / ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН». М.: Товарищество научных изданий КМК. 2023. 183 с.
5. Литвиненко Л.И., Корентович М.А., Бойко Е.Г., Литвиненко А.И., Зенкович П.А. Артемия в гипергалинных водоемах России (география, биоразнообразие, экология, биология и практическое использование). Тюмень: ГАУ Северного Зауралья. 2024. 364 с. URL: <http://www.gausz.ru/nauka/setevye-izdaniya/2024/litvinenko.pdf> (дата обращения 01.08.2024).
6. Галахов В.П., Губарев М.С., Назаров А.Н. Водный баланс бессточных озерно-речных систем Обь-Иртышского междуречья (в пределах Алтайского края): монография. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та. 2010. 112 с.
7. Черных Д.В., Бирюков Р.Ю., Першин Д.К. Динамика площади озер в степной зоне Алтайского края в условиях антропогенного воздействия и климатических изменений // Известия РАН. Серия Географическая. 2022. Т. 86. № 1. С. 109-121
8. Галахов В.П., Колупаева И.А. Водный баланс Пракулундинского озера // Природные ресурсы Горного Алтая: геология, геофизика, гидрогеология, геоэкология, минеральные и водные ресурсы: бюллетень. 2007. № 1. С. 86-90
9. Лукерина Г.В., Мазникова О.А. Современное состояние запасов и промысла короткоциклового беспозвоночного в озерах Алтайского края // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2022. №1 (192). С. 52-61. <http://doi.org/10.33920/sel-09-2201-04>
10. Веснина Л.В., Лукерина Г.В., Ронжина Т.О. Результаты многолетнего экологического мониторинга гипергалинного озера Большое Яровое, г. Славгород Алтайского края // Рыбное хозяйство. 2019. № 4 (159). С. 19-27
11. Айбулатов Д., Зотов Л., Фролова Н., Чалов С. Современные возможности использования методов дистанционного зондирования для получения информации о водных объектах // Earth Observations for Future Earth. 2015. С. 34-37
12. Донцов А.А., Пестунов И.А., Рылов С.А., Суторихин И.А. Автоматизированный мониторинг площадей акваторий озер и водохранилищ по спутниковым данным // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2017. Т. 4. № 2. С. 38-45. ISSN 2618-981X
13. Рылов С.А., Пестунов И.А. Определение площадей озер по данным со спутников серии Sentinel-2 // J. Sib. Fed. Univ. Eng. technol. <http://doi.org/10.17516/1999-494X-0108>
14. Mojtabehi A., Dadashzadeh M., Azizkhani M., Mohammadian A., Almasi R. Assessing climate and human activity effects on lake characteristics using spatio-temporal satellite data and an emotional neural network // Environmental Earth Sciences. 2022. 81:61. <http://doi.org/10.1007/s12665-022-10185-3>
15. Wang X., Tian J., Ma L., Sun X., Tian L. Remote detection of Artemia slicks using multisatellite observations: spectral, spatial and temporal considerations // International Journal of Digital Earth. 2023. V. 17. № 1. <https://doi.org/10.1080/17538947.2023.2301433>
16. Zhao Sh., Tian J., Wang X., Sun X., Yao T., Tian L. Human activities caused the dramatic variations of Artemia slicks in Lake Urmia, the largest lake in Iran: satellite observations over the past 34 years // International Journal of Digital Earth. 2025. V. 18. № 1. <https://doi.org/10.1080/17538947.2025.2468415>
17. Веснина Л.В., Безматерных Д.М., Веснин Ю.А., Ласый М.В. Продукционный потенциал жаброногого рачка артемии в гипергалинных озерах равнины Алтайского края // Вестник НГАУ. 2024. 2(71). С. 189-198. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2024-71-2-189-198>
18. Веснина Л.В., Журавлев В.Б., Новоселов В.А. [и др.]. Водоемы Алтайского края: биологическая продуктивность и перспективы использования / Новосибирск: Наука. Сиб. предприятие РАН. 1999. 285 с.
19. <https://earthexplorer.usgs.gov/> (дата обращения: 01.03.2025 г.)
20. Рылов С.А. Многолетний мониторинг усыхания озера Убинское по спутниковым данным Landsat 4,5,7,8 с помощью специализированных алгоритмов сегментации // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2018. Т. 4. № 1. С. 102-108. ISSN 2618-981X
21. <https://rp5.ru/> (дата обращения: ежемесячно 2019-2024 гг.)
22. Методические рекомендации по оценке запаса и прогнозированию рекомендованного объема добычи (вылова) артемии. М.: ВНИРО. 2019. 49 с.
23. Шнитников А.В. Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажненности: очерки. Л.: Наука. 1968. 295 с.
24. Косачева Ю.Н., Митрофанова Е.Ю. Анализ таксономического состава фитопланктона озера Кулундинское (Алтайский край) по ретроспективным данным / Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии, 2021. 20(1). С. 243-245. <https://doi.org/10.14258/pbssm.2021046>

25. Литвиненко Л.И., Литвиненко А.И., Бойко Е.Г. *Артемия в озерах Западной Сибири*. Новосибирск: Наука. 2009. 304 с.

LITERATURE AND SOURCES

- Solovov V.P., Studenikina T.L. (1990). *Artemia* crustacean in the lakes of Western Siberia: ecology, prospects of economic use. Novosibirsk: Nauka Publ. 81 p. (In Russ.).
- Solovov, V.P., Podurovsky M.A., Yasyuchenya T.L. (2001). Brine shrimp *Artemia*: history and prospects of resource use. Barnaul: JSC "Altai Polygraphic Plant". 144 p. (In Russ.).
- Wurtsbaugh W. A., Miller C., Null S. E., DeRose R. J., Wilcock P., Hahnenberger M., Howe F., Moore J. (2017). Decline of the world's saline lakes // *Nature Geoscience*. 10. Pp. 816-821. <http://doi.org/10.1038/NGeo3052>
- Anufrieva E.V., Shadrin N.V. (2023). Life in an extreme environment. Animals in ecosystems of hyper-saline waters / A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of the Russian Academy of Sciences, Moscow: Association of Scientific Publications of the KMC, 183 p. (In Russ.).
- Litvinenko L.I., Korentovich M.A., Boyko E.G., Litvinenko A.I., Zenkovich P.A. (2024). *Artemia* in hyperhaline reservoirs of Russia (geography, biodiversity, ecology, biology and practical use). Tyumen: State Agrarian University of the Northern Urals. 364 p. URL: <http://www.gausz.ru/nauka/setevye-izdaniya/2024/litvinenko.pdf> (date of access 01.08.2024). (In Russ.).
- Galakhov V.P., Gubarev M.S., Nazarov A.N. (2010). Water balance of drainless lake-river systems of the Ob-Irtysh interfluvium (within the Altai Territory): the monograph. Barnaul: Publishing house of the Alt. University. 112 p. (In Russ.).
- Chernykh D.V., Biryukov R.Yu., Pershin D.K. (2022). Dynamics of lake area in the steppe zone of the Altai Territory under conditions of anthropogenic impact and climatic changes // *News of the Russian Academy of Sciences. Geographical series*. Vol. 86. No. 1. Pp. 109-121. (In Russ., abstract in Eng.).
- Galakhov V.P., Kolupaeva I.A. (2007). The water balance of the Prkulundinsky lake // *Natural resources of Gorny Altai: geology, geophysics, hydrogeology, geoecology, mineral and water resources: bulletin*. No. 1. Pp. 86-90. (In Russ.).
- Lukerina G.V., Maznikova O.A. (2022). The current state of stocks and fishing of short-cycle invertebrates in the lakes of the Altai Territory // *Fish farming and fisheries*. No. 1 (192). Pp. 52-61. <http://doi.org/10.33920/sel-09-2201-04> (In Russ., abstract in Eng.).
- Vesnina L.V., Lukerina G.V., Ronzhina T.O. (2019). Results of long-term environmental monitoring of the hyperhaline Bolshoe Yarovoe Lake, Slavgorod, Altai Territory // *Fishing industry*. No. 4 (159). Pp. 19-27. (In Russ., abstract in Eng.).
- Aybulatov D., Zotov L., Frolova N., Chalov S. (2015). Modern possibilities of using remote sensing methods to obtain information about water bodies // *Earth Observations for Future Earth*. Pp. 34-37. (In Russ., abstract in Eng.).
- Dontsov A.A., Pestunov I.A., Rylov S.A., Sutorikhin I.A. (2017). Automated monitoring of water areas of lakes and reservoirs using satellite data // *Interexpo Geo-Siberia*. Vol. 4. No. 2. Pp.38-45. ISSN 2618-981X. (In Russ., abstract in Eng.).
- Rylov S.A., Pestunov I.A. Determination of lake areas based on data from Sentinel-2 series satellites // *J. Sib. Fed. Univ. Eng. Technol.* <http://doi.org/10.17516/1999-494X-0108> (In Russ., abstract in Eng.).
- Mojtahedi A., Dadashzadeh M., Azizkhani M., Mohammadian A., Almasi R. (2022). Assessing climate and human activity effects on lake characteristics using spatio-temporal satellite data and an emotional neural network // *Environmental Earth Sciences*. 81:61. <http://doi.org/10.1007/s12665-022-10185-3>
- Wang X., Tian J., Ma L., Sun X., Tian L. (2023). Remote detection of *Artemia* slicks using multisatellite observations: spectral, spatial and temporal considerations // *International Journal of Digital Earth*. V. 17. № 1. <https://doi.org/10.1080/17538947.2023.2301433>
- Zhao Sh., Tian J., Wang X., Sun X., Yao T., Tian L. (2025). Human activities caused the dramatic variations of *Artemia* slicks in Lake Urmia, the largest lake in Iran: satellite observations over the past 34 years // *International Journal of Digital Earth*. V. 18. № 1. <https://doi.org/10.1080/17538947.2025.2468415>
- Vesnina L.V., Bezmaternykh D.M., Vesnin Yu.A., Lassiy M.V. (2024). Productive potential of the *Artemia* gill-footed crustacean in hyperhaline lakes of the Altai Territory plain // *Bulletin of NGAU*. 2(71). Pp. 189-198. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2024-71-2-189-198> (In Russ., abstract in Eng.).
- Vesnina L.V., Zhuravlev V.B., Novoselov V.A. [et al]. 1999. *Reservoirs of the Altai Territory: biological productivity and prospects for use* / Novosibirsk: Nauka. Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. 285 p. (In Russ.).
- <https://earthexplorer.usgs.gov/> (date of access: 03.01.2025)
- Rylov S.A. (2018). Long-term monitoring of Lake Ubinskoye drying using Landsat satellite data 4,5,7,8 using specialized segmentation algorithms // *Interexpo Geo-Siberia*. Vol. 4. No. 1. pp.102–108. ISSN 2618-981X (In Russ., abstract in Eng.).
- <https://rp5.ru/> (date of access: monthly 2019-2024)
- Methodological recommendations for assessing the stock and forecasting the recommended volume of production (catch) of *artemisias*. 2019. Moscow: VNIRO Publishing House. 50 p. (In Russ.).
- Shnitnikov A.V. (1968). Intraspecific variability of the components of total moisture content: essays. L.: Nauka. 295 p. (In Russ.).
- Kosacheva Yu.N., Mitrofanova E.Y. (2021). Analysis of the phytoplankton taxa composition in Lake Kulundinskoye (Altai Krai) based on retrospective data / *Problems of Botany of Southern Siberia and Mongolia*. 20(1). Pp. 243-245. <https://doi.org/10.14258/pbssm.2021046> (In Russ., abstract in Eng.).
- Litvinenko L.I., Litvinenko A.I., Boyko E.G. (2016). *Brine shrimp Artemia in Western Siberia Lakes: translated from Russian*. Novosibirsk: Nauka Publ. 295 p. (In Russ.).

Материал поступил в редакцию/ Received 22.03.2025
Принят к публикации / Accepted for publication 15.05.2025