

ГИДРАВЛИКА И ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ

Обзорная статья

УДК 626.81

doi: 10.31774/2712-9357-2022-12-3-291-304

Геоэкологическое состояние водных объектов в Республике Калмыкия

Юрий Михайлович Косиченко¹, Александр Васильевич Колганов²

^{1, 2}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

¹Kosichenko-11@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9648-6441>

²kolganov49@mail.ru

Аннотация. **Цель:** оценка геоэкологического состояния водных объектов, крупных обводнительно-оросительных систем, Сарпинских озер, водохранилищ, магистральных и распределительных каналов, речной сети. **Обсуждение.** Общая площадь обводнительно-оросительных систем суммарно составляет около 122 тыс. га, при этом из 54 тыс. га орошаемых земель половина поливается водой с высокой минерализацией. За 48 лет изменились морфометрические характеристики крупных озер в худшую сторону, вода в озерах постепенно становится соленой, береговая зона зарастает водной растительностью и значительно заиляется, многие оросительные каналы испытывают деформации откосов, их дамбы разрушаются, снижается пропускная способность. На территории Калмыкии сооружено порядка 135 водохранилищ, самыми крупными из которых являются Чограйское, Городовиковское и Пролетарское. Состояние орошаемых земель за период 2010–2018 гг. оценивается как хорошее в 2–4 % случаев, как удовлетворительное в 24–29 %, как неудовлетворительное в 68–72 % случаев. Причиной вторичного засоления, заболачивания, истощения орошаемых земель и опустынивания являлось несовершенство оросительных и коллекторно-дренажных систем, а также техника полива. Включение в сельхозоборот большого количества залежных земель приведет к социально-экономическим и климатическим изменениям, а также гумидному потеплению в Республике Калмыкия. В дальнейшем рекомендуется реконструкция каналов в земляном русле с устройством на них облицовки с использованием геосинтетических и геокомпозитных материалов, что позволит повысить КПД каналов Черноземельской и частично Сарпинской обводнительно-оросительной системы с доведением их КПД до 0,85–0,90. **Выводы.** В Республике Калмыкия развиваются процессы опустынивания, основные причины которых – деградация, ветровая и водная эрозия почв, дегумификация и вторичное засоление. Индекс суммарного опустынивания составляет 76 баллов.

Ключевые слова: орошаемые земли, обводнительно-оросительные системы, магистральные и распределительные каналы, водные объекты, озера, водохранилища, речная сеть

Для цитирования: Косиченко Ю. М., Колганов А. В. Геоэкологическое состояние водных объектов в Республике Калмыкия // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 3. С. 291–304. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-3-291-304>.

HYDRAULICS AND ENGINEERING HYDROLOGY

Review article

Geoeological state of water bodies in the Republic of Kalmykia

Yuriy M. Kosichenko¹, Aleksandr V. Kolganov²

^{1, 2}Russian Scientific Research Institute for Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

¹Kosichenko-11@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9648-6441>

²kolganov49@mail.ru

Abstract. Purpose: assessment of the geoecological state of water bodies, large irrigation and feeding systems, Sarpinsky lakes, reservoirs, main and distribution canals, river network. The total area of irrigation and feeding systems totals about 122 thousand hectares, while half of the 54 thousand hectares of irrigated land is watered with high salinity water. For 48 years, the morphometric characteristics of large lakes have changed for the worse, the water in the lakes is gradually becoming saline, the coastal zone is overgrown with aquatic vegetation and is significantly silted up, many irrigation canals experience slope deformations, their dams are being destroyed, and the throughput capacity is decreasing. About 135 reservoirs have been built on the territory of Kalmykia, the largest of which are Chograyskoe, Gorodovikovskoe and Proletarskoye. Condition of irrigated lands for the period 2010–2018 is assessed as good in 2–4 % of cases, as satisfactory in 24–29 %, as unsatisfactory in 68–72 % of cases. **Discussion.** The cause of secondary salinization, waterlogging, depletion of irrigated lands and desertification was the imperfection of irrigation and collector-drainage systems, as well as irrigation techniques. The inclusion of a large amount of fallow lands in agriculture will lead to socio-economic and climatic changes, as well as humid warming in the Republic of Kalmykia. In the future, it is recommended to reconstruct canals in an earthen channel with the installation of lining on them using geosynthetic and geocomposite materials, which will increase the canals' performance of the Chernozemelskaya and partially Sarpinskaya watering and feeding systems, bringing their efficiency to 0.85–0.90. **Conclusions.** Desertification processes are developing in the Republic of Kalmykia, the main causes of which are degradation, wind and water soil erosion, dehumification and secondary salinization. The total desertification index is 76 points.

Keywords: irrigated lands, watering and feeding systems, main and distribution canals, water bodies, lakes, reservoirs, river network

For citation: Kosichenko Yu. M., Kolganov A. V. Geoecological state of water bodies in the Republic of Kalmykia. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2022;12(3): 291–304. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-3-291-304>.

Введение. Территория Республики Калмыкия расположена в наиболее засушливой зоне (полупустыня и пустыня), что подтверждается климатическими данными, высокими температурами, значительным испарением с поверхности земли и испарением с водных объектов, в т. ч. Сарпинской группы озер.

Рельеф республики – полупустынная равнина, на которой выделяют-ся три основных физико-географических и ландшафтных района: Прикаспийская низменность (Черные земли и Сарпинская низменность) на востоке, возвышенность Ергени на северо-западе и Кумо-Манычская впадина

на юге. На юго-востоке Калмыкия омывается Каспийским морем. Географическое положение и относительная равнинность территории определяют ее географическую зональность: зоны сухих степей, полупустынь и пустынь [1, 2].

Сарпинские озера протяженностью более 200 км расположены у подножия Ергеней. Всего здесь находится более 10 озер, которые разделяются на две группы. Волгоградская часть озер относится к северной группе, куда входят озера Сарпы. Суммарная длина этих озер насчитывает около 60 км. В Сарпинских озерах особое внимание обращает озеро Сарпа-Южное [3–5]. На Сарпинских озерах находится волгоградская часть, которая испытала за последние 40 лет техногенное воздействие, а калмыцкая часть практически была нетронутой [2].

Целью исследований являлась оценка геоэкологического состояния водных объектов, крупных обводнительно-оросительных систем, Сарпинских озер, водохранилищ, магистральных и распределительных каналов, речной сети.

Речная сеть Калмыкии включает 137 рек общей длиной 4008,0 км [1]. Она расположена в западной части и представлена малыми реками протяженностью 26–100 км, общая их длина насчитывает более 2079 км. Характерно, что малые реки представляют собой временные водотоки, которые обычно пересыхают летом. Крупные реки только частично расположены на территории республики: р. Волга в районе пос. Цаган Аман длиной около 10 км, по границе Ставропольского края р. Маныч, р. Егорлык на отрезке границы с Ростовской областью, р. Кума по границе с Республикой Дагестан, на западе верховья р. Сал. Особенностью режима многих рек является малый период весеннего половодья, а в остальное время года наблюдается малый сток. Средний многолетний речной сток составляет 1,1 км³/год. В конце ноября и первой половине декабря реки обычно замерзают, а в марте реки вскрываются и образуется шуга.

Сарпинские озера летом становятся мелководными и активно зарастают водной растительностью. Большинство озер пересыхает и становятся солончаками [2]. Сарпинские озера представляют собой цепочку. Вода в них становится слабосоленой, а весной пополняется из малых рек и озер [6, 7].

В 2000-е гг. размеры озер значительно сократились. При этом наибольшее усыхание получилось на озере Сарпа, длина которого уменьшилась на треть, а площадь снизилась более чем вдвое. Северная, восточная и южная части озера Сарпа были осушены. Прежние озера стали солончаками [6].

Обсуждение. Основные морфологические характеристики воды в Сарпинских озерах стали близкими к максимально допустимым или превышали значения ПДК для рыбохозяйственных водоемов [2]. Минерализация южной части Сарпы оказалась в 3–4 раза выше, а северный участок озера стал более распресненным. Так, минерализация воды в 2010 г. в среднем составила 2283,0 мг/л, что можно отнести к слабосоленой воде (таблица 1).

Таблица 1 – Основные характеристики Сарпинских озер по данным В. А. Брылева, С. И. Пряхина, А. С. Сергеевой [2]

Table 1 – The main characteristics of the Sarpinsky lakes according to V. A. Brylev, S. I. Pryakhin, A. S. Sergeeva [2]

Наименование озера	Площадь, км ²	Длина, км	Характерная ширина, км	Свойства воды, мг/л
Сарпа	<u>29,9</u> 18,0	<u>18,5</u> 11,0	<u>до 3,4</u> 1,0–2,0	<u>пресная</u> слабосоленая 2288,0
Цаца	<u>5,3</u> 5,6	<u>6,7</u> 5,0	<u>до 1,4</u> 1,0–1,4	<u>пресная</u> пресная 1036,0
Барманцак	<u>21,1</u> 12,0	<u>13,0</u> 10,0	<u>до 2,5</u> 1,0–1,4	<u>пресная</u> солёная 4963,0
Галгой	1,0	6,5	0,1–0,2	–
Примечание – В числителе представлены данные 1962 г., а в знаменателе – данные 2010 г.				

Площадь зеркала Сарпинских озер по данным 2010 г. составила 18,0 км², что в 1,66 раза меньше, чем по данным 1962 г. (29,9 км²). Длина Сар-

пинских озер составила 11,0 км, или стала меньше в 1,68 раза (на 18,5 км). Характерная ширина уменьшилась до 1,0–2,0 км (по данным 1962 г. она составляла до 3,4 км) [1, 3].

Анализ морфометрических характеристик Сарпинских озер свидетельствует о том, что на самом крупном озере наблюдается значительное снижение характеристик с 1962 по 2010 г. как по площади зеркала, длине, так и по ширине (в среднем от 1,7 до 2,2 раза), а вода в озере вместо пресной с характеристикой около 1000 мг/л стала слабосоленой (минерализация выросла в 2,3 раза). Ниже рассмотрим морфологические характеристики основных озер Сарпинской гряды: Цаца, Барманцак, Галгой [2, 3].

Вода озера Цаца практически стала пресной. В озере Галгой воду по минерализации можно считать чисто пресной. Вода в озере Цаца не изменилась из-за антропогенного влияния в береговой зоне (она имеет минерализацию 1036,0 мг/л). Озеро Цаца, расположенное в 10 км к югу от Сарпы, можно считать пресным. Оно никогда не пересыхает, а вода в нем постоянно пресная.

К крупнейшим озерам Сарпинской системы относится озеро Барманцак, которое расположено в 8–9 км к югу от озера Цаца. Озеро вытянуто с севера на юг на 12 км при средней ширине 1,5 км. В засушливые годы озеро никогда полностью не пересыхает.

К наиболее крупным магистральным каналам (МК) относятся: Черноземельский МК, МК Р-3, ВР-1, Р-1 Сарпинской обводнительно-оросительной системы (ООС) и Калмыцкий МК [4–10]. Расходы каналов Q , их протяженность L и другие характеристики:

- Черноземельский МК: $Q = 40,0 \text{ м}^3/\text{с}$, $L = 140,2 \text{ км}$, площадь орошения – 52,0 га, в т. ч. регулярное орошение – 25,0 га, источник питания – Чограйское водохранилище;

- МК Р-3 (совместно с каналом ВР-1): $Q = 25,0 \text{ м}^3/\text{с}$, $L = 118,8 \text{ км}$, длина межхозяйственных распределительных каналов 388,0 км, источник питания – р. Волга;

- МК Р-1: $Q = 7,5 \text{ м}^3/\text{с}$, $L = 114,6 \text{ км}$, источник питания – р. Волга;
- Яшкульский распределительный канал: $Q = 15,0 \text{ м}^3/\text{с}$, $L = 56,9 \text{ км}$.

В таблице 2 приведены основные характеристики оросительных каналов. Следует отметить, что все каналы Сарпинской и Черноземельской обводнительно-оросительных систем (ООС) находятся в земляном русле, и поэтому они требуют проведения текущего и капитального ремонта.

Таблица 2 – Основные характеристики оросительных каналов

Table 2 – Main characteristics of irrigation canals

Наименование	Расход, $\text{м}^3/\text{с}$	Длина, км	Площадь орошения, га	Источник питания
Черноземельский МК	40,0	140,2	52,0, в т. ч. регулярное орошение 25,0	Чограйское водохранилище
МК Р-3 (в т. ч. ВР-1)	25,0	$\frac{118,8}{388,0^*}$	–	р. Волга
МК Р-1	7,5	114,6	–	р. Волга
Яшкульский распределительный канал	15,0	56,9	–	Черноземельский МК
Приозерский распределительный канал	15,0	44,8	–	Черноземельский МК
Гашунский распределительный канал	5,0	46,4	–	Черноземельский МК
Калмыцкий МК	20,0	35,0	–	–
*Длина межхозяйственных распределительных каналов Сарпинской ООС.				

Кроме МК также могут рассматриваться вопросы реконструкции Яшкульского, Приозерского и Гашунского распределителей [2, 11].

В таблице 3 даны общие площади ООС и лимиты водоподачи. Так, на Сарпинской ООС общая площадь составляет 678,0 тыс. га, лимит водоподачи равен 456,9 млн $\text{м}^3/\text{год}$. Для Черноземельской ООС общая площадь ООС – 670,0 тыс. га, лимит водоподачи – 536,9 млн $\text{м}^3/\text{год}$. В качестве водоисточника используется р. Волга для Сарпинской ООС, а для Черноземельской ООС водоисточником является Чограйское водохранилище [4].

На Сарпинской ООС имеется 1224 гидротехнических сооружения, из которых 165 на межхозяйственной сети и 1055 на внутрихозяйственной, сбросной и дорожной сети. Общий объем подаваемой в систему воды со-

ставляет 320,0 млн м³ при расходе 32,5 м³/с. Площадь орошаемых и обводняемых земель Сарпинской ООС на территории Республики Калмыкия на 01.01.2003 составила 33,2 тыс. га при годовом лимите подачи воды из внешних источников 456,9 млн м³/год [12].

Таблица 3 – Общая площадь обводнительно-оросительных систем и годовой лимит водоподачи

Table 3 – Total area of irrigation and feeding systems and annual water supply limit

Наименование ООС	Общая площадь, тыс. га	Лимит водоподачи, млн м ³ /год	Водоисточник
Сарпинская	$\frac{678,0}{20,9^*}$	456,9	р. Волга
Черноземельская	$\frac{670,0}{65,7^*}$	536,9	Чограйское водохранилище
Калмыцко-Астраханская	7,720	117,9	р. Волга
Право-Егорлыкская	4,519	93,0	р. Кубань
Каспийская	1,249	48,8	р. Бахтемир
*В знаменателе даны площади оросительных систем в тыс. га.			

Калмыцко-Астраханская ООС расположена в Астраханской области и Республике Калмыкия, представляет собой сеть искусственных каналов и соединенных между собой водоемов. Подача воды осуществляется из р. Волги двумя насосными станциями, которые подают воду в Чограйское водохранилище, оттуда насосной станцией второго подъема вода подается в Калмыцкий МК. Общая протяженность канала – 35 км. Расход воды в концевой части канала равен 20 м³/с. Площадь орошаемых и обводняемых земель на территории Республики Калмыкия составила 7720 га при годовом лимите 117,9 млн м³/год [13–16].

Черноземельская ООС расположена в самой засушливой зоне республики, на Черных землях. Данная ООС относится к самой крупной в Калмыкии, проектная площадь обводнения составляет 1,48 млн га, фактическая не превышает 0,67 тыс. га (45 %). Подача воды в Черноземельскую ООС осуществляется из Чограйского водохранилища, рабочий объем которого – 510 млн м³. По Черноземельскому, Гашунскому и Яшкульскому

распределительным каналам вода самотеком поступает в Черноземельскую ООС. Эти каналы в большинстве имеют земляное русло, в результате потери воды составляют 16–37 %. Годовой лимит подачи – 536,9 млн м³/год, площадь орошаемых и обводняемых земель равна 40,4 тыс. га [4, 8–13].

В дальнейшем рекомендуется реконструкция каналов на Черноземельской ООС с устройством облицовок из геосинтетических материалов. Подобный опыт имеется за рубежом [17], где применяются геомембраны, а в случае повреждений – ремонт различными способами.

Право-Егорлыкская ООС расположена на Ставропольской возвышенности. Источником водоснабжения системы служит р. Кубань, где в русле построено Новотроицкое водохранилище, из которого подается вода в Право-Егорлыкскую ООС. Проектом предусматривалось обводнение на площади 1,5 млн га и орошение 153 тыс. га в Ростовской области, Республике Калмыкия и Ставропольском крае.

Длина Магистрального Право-Егорлыкского канала равна 125 км, головной расход воды – 45 м³/с, концевой сброс в р. Калаус – 5 м³/с. На территории Республики Калмыкия площадь орошаемых и обводняемых земель Право-Егорлыкской ООС составила 4519 га при годовом лимите подачи воды 93,01 млн м³/год.

Общая площадь орошаемых и обводняемых земель на территории Республики Калмыкия составила 80,6 тыс. га при лимите подачи воды из внешних источников, равном 1253,5 млн м³/год. Максимальный забор воды на нужды орошения в республике отмечен в 1990 г. и составил 723 млн м³. После 1990 г. забор воды на орошение снизился к 2007 г. в 2,8 раза, что отразилась в общем упадке сельского хозяйства. Относительная стабилизация забора воды для орошения приходится на 2001–2009 гг. и составляет 200–300 млн м³.

Республика Калмыкия является наиболее засушливой в юго-восточной части России. Общая площадь земель ООС составляет около

122 тыс. га [1, 10]. В связи с этим в Калмыкии из 54 тыс. га регулярно орошаемых земель половина поливается водой неудовлетворительного качества как по общей минерализации, так и по химическому составу [18–20]. Особенно это характерно для безводных районов, где для полива используются воды местных источников (водоемов), пополняемых местным стоком, и дренажно-сбросные минерализованные воды с рисовых оросительных систем [21–23].

Важным вопросом на оросительных системах является общее содержание солей. Так, например, на Право-Егорлыкской оросительной системе минерализация находится в пределах 0,5–2,0 г/л.

Выводы. В Республике Калмыкия интенсивно развиваются процессы опустынивания, основные причины которых – деградация почв, ветровая и водная эрозия. Гидрологический режим Сарпинских озер характеризуется заморозными явлениями зимой, летом – резким суточным колебанием кислорода, повышенной минерализацией воды (при этом содержание хлорид-иона более чем в 40 раз превышает среднее значение по р. Волге), минерализация южной части Сарпинского озера оказалась в 3–4 раза выше и достигла в 2000 г. значения 8915 мг/л, а северный участок более опресненный, соленость составляет около 1000 мг/л.

Черноземельская ООС расположена в самой засушливой зоне республики (Черные земли), Черноземельский МК, а также Гашунский и Яшкульский распределительные каналы подают воду самотеком в земляном русле, в результате чего потери воды значительно увеличиваются (до 37 %).

Дефицит водных ресурсов обусловил развитие орошения: на территории Калмыкии используются пять крупных ООС. Общая протяженность магистральной сети оросительных каналов превышает 1000 км, длина сети сбросных коллекторов более 600 км. Максимальный объем забора воды для орошения за период 1980–1990 гг. составил 723 млн м³, в 2010–2017 гг. забор воды для целей орошения уменьшился до 120–200 млн м³. Площадь

оросительных земель в республике с 2010 по 2018 г. оставалась прежней – 48,3 тыс. га. Причиной вторичного засоления, заболачивания, деградации и истощения земель стало несовершенство конструкций оросительных и дренажно-коллекторных систем.

Список источников

1. Шумова Н. А. Изменение структуры землепользования и орошения в современных климатических условиях в Республике Калмыкия // Экосистемы: экология и динамика. 2021. Т. 5, № 1. С. 113–131. DOI: 10.24411/2542-2006-2021-10080.
2. Брылев В. А., Пряхин С. И., Сергеева А. С. Эволюция и геоэкологическое состояние Сарпинских озер (северная группа) // Вестник ВГУ. Серия: География, геоэкология. 2012. № 1. С. 35–41.
3. Сергеева А. С. Оценка современного состояния Сарпинских озер // Эколого-географические исследования в речных бассейнах: сб. тр. Всерос. науч.-практ. конф. Воронеж: Воронеж. гос. пед. ун-т, 2003. С. 250–253.
4. Воеводина Л. А. Анализ рациональности использования водных ресурсов Чограйского водохранилища Черноземельской обводнительно-оросительной системой // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2021. Т. 11, № 4. С. 122–140. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1241> (дата обращения: 09.02.2022). DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-4-122-140.
5. Водные ресурсы Калмыкии: проблемы, риски, безопасность жизнедеятельности / М. М. Сангаджиев, А. С. Мутырова, А. Ю. Качаев, Х. В. Хантыев, А. М. Эренжонов // Московский экономический журнал. 2021. № 3. С. 312–320. DOI: 10.24411/2413-046X-2021-10149.
6. Уланова С. С. Оценка последствий создания и использования водных объектов Калмыкии на основе многолетних данных геологического мониторинга // Вестник института. 2019. № 1(38). С. 32–37. DOI: 10.24411/2071-7830-2019-10009.
7. Уланова С. С. Водохранилища Калмыкии: оценка последствий создания // Деградация земель и опустынивание: проблемы устойчивого природопользования и адаптации: материалы междунар. науч.-практ. конф. М., 2020. С. 132–135.
8. Бородычев В. В., Дедова Э. Б., Сазонов М. А. Водные ресурсы Республики Калмыкия и мероприятия по совершенствованию водохозяйственного комплекса // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2015. № 4. С. 41–45.
9. Дедова Э. Б. Мелиоративный комплекс Калмыкии: проблемы и пути решения // Вестник Института комплексных исследований аридных территорий. 2011. Т. 2, № 2(33). С. 123–128.
10. Дедова Э. Б., Бородычев В. В., Шуравилин А. В. Хозяйственно-мелиоративная оценка оросительных систем Республики Калмыкия // Мелиорация и водное хозяйство. 2011. № 4. С. 11–13.
11. Сарпинская оросительно-обводнительная система на территориях Волгоградской, Астраханской областях и Республики Калмыкия, ее геоэкологические и гидротехнические проблемы и пути их решения / А. А. Сухов, Д. П. Арьков, Д. Н. Никифорова, К. А. Ляшенко // Вестник мелиоративной науки. 2021. № 2. С. 28–32.
12. Кадаева А. Г. К вопросу о качестве оросительных вод в Калмыкии // Вестник Калмыцкого института гуманитарных исследований РАН. 2013. № 1. С. 158–160.
13. Мониторинг водных ресурсов Республики Калмыкия и проблемы экосистем-

ного водопользования в агропромышленном комплексе / А. С. Овчинников, В. В. Бородычев, Э. Б. Дедова, М. А. Сазанов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2015. № 3(39). С. 9–19.

14. Дедова Э. Б., Шабанов Р. М., Дедов А. А. Пути повышения эффективности функционирования рисовой оросительной системы на территории Сарпинской низменности // Colloquium-journal. 2019. № 5(29). С. 41–43.

15. Дедова Э. Б., Гольдварг Б. А., Цаган-Манджиев Н. Л. Деградация земель Республики Калмыкия: проблемы и пути их восстановления // Аридные экосистемы. 2020. № 2(83). С. 63–71. DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10097.

16. Проблемы водопользования и функционирования водохозяйственного комплекса Республики Калмыкия / Э. Б. Дедова, А. А. Дедов, В. И. Иванова, Т. Н. Манджиева // Основные результаты научных исследований института за 2018 год: сб. науч. тр. / ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова». М.: ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова, 2019. С. 64–73.

17. Scuero A., Vaschetti G. Rehabilitation of canals with watertight geomembranes, in the dry and underwater // 2nd GeoMEast International Congress and Exhibition on Sustainable Civil Infrastructures. Egypt, 2019. P. 59–76. DOI: 10.1007/978-3-030-01944-0_6.

18. Dedova E. B., Goldvarg B. A., Tsagan-Mandzhiev N. L. Land degradation of the Republic of Kalmykia: Problems and reclamation methods // Arid Ecosystems. 2020. Vol. 6, № 2. P. 140–147. <https://doi.org/10.1134/S2079096120020043>.

19. Assessment of the Republic of Kalmykia artificial groundwater resources recharge at the expense of the surface runoff accumulation / L. S. Rybnikova, N. L. Frolova, M. G. Morozov, A. V. Komin, P. A. Rybnikov // International Scientific and Practical Conference on Improving Energy Efficiency, Environmental Safety and Sustainable Development in Agriculture. 2022. Vol. 979. 012177. DOI: 10.1088/1755-1315/979/1/012177.

20. Dedova E. B., Dedov A. A. Ecological paradigm for sustainable functioning of reclamation systems in arid territories // International Symposium on Earth Sciences: History, Contemporary Issues and Prospects. 2021. Vol. 867. 012058. DOI: 10.1088/1755-1315/867/1/012058.

21. Саратиров В. В. О проблеме деградации и опустынивания земель в Республике Калмыкия // Современная наука: теоретический и практический взгляд: сб. ст. междунар. науч.-практ. конф., г. Уфа, 25 февр. 2015 г. С. 311–313.

22. Уланова С. С., Бембеева О. Г., Шагинов П. А. Геологические исследования искусственных водоемов аридной зоны и их экотонных систем «вода – суша» на примере Чограйского водохранилища // Астраханский вестник экологического обозрения. 2019. № 1(49). С. 87–100.

23. Шумова Н. А. Анализ климатических условий в Республике Калмыкия за 1966–2017 гг. // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26, № 3(84). С. 23–29. DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10103.

References

1. Shumova N.A., 2021. *Izmenenie struktury zemlepol'zovaniya i orosheniya v sovremennykh klimaticheskikh usloviyakh v Respublike Kalmykiya* [Change in structure of land use and irrigation under modern climatic conditions in the Republic of Kalmykia]. *Ekosistemy: ekologiya i dinamika* [Ecosystems: Ecology and Dynamics], vol. 5, no. 1, pp. 113–131, DOI: 10.24411/2542-2006-2021-10080. (In Russian).

2. Brylev V.A., Pryakhin S.I., Sergeeva A.S., 2012. *Evolutsiya i geoekologicheskoe sostoyanie Sarpinskikh ozer (severnaya grupa)* [Evolution and geoecological condition of

the Sarpinsky lakes (northern group)]. *Vestnik VGU. Seriya: Geografiya, geoekologiya* [Bulletin of VGU. Series: Geography, Geoecology], no. 1, pp. 35-41. (In Russian).

3. Sergeeva A.S., 2003. *Otsenka sovremennogo sostoyaniya Sarpinskikh ozer* [Assessment of the current state of the Sarpinsky lakes]. *Ekologo-geograficheskie issledovaniya v rechnykh basseynakh: sbornik trudov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Ecological and Geographical Research in River Basins: Proc. All-Russian Scientific-Practical Conference]. Voronezh, Voronezh State Pedagogical University, pp. 250-253. (In Russian).

4. Voevodina L.A., 2021. [The analysis of the rational use of water resources of the Chogray reservoir in Chernozemelsky irrigation and feeding system]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 11, no. 4, pp. 122-140, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1241> [accessed 09.02.2022], DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-4-122-140. (In Russian).

5. Sangadzhiev M.M., Mutyrova A.S., Kachaev A.Yu., Khantyev H.V., Erenzhenov A.M., 2021. *Vodnye resursy Kalmykii: problemy, riski, bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Water resources of Kalmykia: problems, risks, life safety]. *Moskovskiy ekonomicheskii zhurnal* [Moscow Economic Journal], no. 3, pp. 312-320, DOI: 10.24411/2413-046X-2021-10149. (In Russian).

6. Ulanova S.S., 2019. *Otsenka posledstviy sozdaniya i ispol'zovaniya vodnykh ob'ektov Kalmykii na osnove mnogoletnikh dannykh geologicheskogo monitoringa* [Assessment of the consequences of water bodies creation and use in Kalmykia based on long-term data of geological monitoring]. *Vestnik instituta kompleksnykh issledovaniy aridnykh territoriy* [Bulletin of Institute of Complex research of Arid Territories], no. 1(38), pp. 32-37, DOI: 10.24411/2071-7830-2019-10009. (In Russian).

7. Ulanova S.S., 2020. *Vodokhranilishcha Kalmykii: otsenka posledstviy sozdaniya* [Kalmykia Reservoirs: assessing the consequences of their creation]. *Degradatsiya zemel' i opustynivanie: problemy ustoychivogo prirodopol'zovaniya i adaptatsii: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Land Degradation and Desertification: Problems of Sustainable Land Management and Adaptation: Proc. of the International Scientific-Practical Conference]. Moscow, pp. 132-135. (In Russian).

8. Borodychev V.V., Dedova E.B., Sazonov M.A., 2015. *Vodnye resursy Respubliki Kalmykiya i meropriyatiya po sovershenstvovaniyu vodokhozyaystvennogo kompleksa* [Water resources of the Republic of Kalmykia and measures to improve water complex]. *Doklady Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk* [Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences], no. 4, pp. 41-45. (In Russian).

9. Dedova E.B., 2011. *Meliorativnyy kompleks Kalmykii: problemy i puti resheniya* [Land reclamation complex of Kalmykia: problems and solutions]. *Vestnik Instituta kompleksnykh issledovaniy aridnykh territoriy* [Bulletin of the Institute of Complex Research of Arid Territories], vol. 2, no. 2(33), pp. 123-128. (In Russian).

10. Dedova E.B., Borodychev V.V., Shuravilin A.V., 2011. *Khozyaystvenno-meliorativnaya otsenka orositel'nykh sistem Respubliki Kalmykiya* [Economic and reclamation assessment of irrigation systems in the Republic of Kalmykia]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Land Reclamation and Water Management], no. 4, pp. 11-13. (In Russian).

11. Sukhov A.A., Arkov D.P., Nikiforova D.N., Lyashenko K.A., 2021. *Sarpinskaya orositel'no-obvodnitel'naya sistema na territoriyakh Volgogradskoy, Astrakhanskoy oblastyakh i Respubliki Kalmykiya, ee geoekologicheskie i gidrotekhnicheskie problemy i puti ikh resheniya* [The Sarpinskaya irrigation and feeding system in the territories of Volgograd, Astrakhan regions and the Republic of Kalmykia, its geoecological and hydrotechnical problems and ways to solve them]. *Vestnik meliorativnoy nauki* [Bulletin of Reclamation Science], no. 2, pp. 28-32. (In Russian).

12. Kadaeva A.G., 2013. *K voprosu o kachestve orositel'nykh vod v Kalmykii* [On the

issue of irrigation water quality in Kalmykia]. *Vestnik Kalmytskogo instituta gumanitarnykh issledovaniy RAN* [Bulletin of the KIH of the RAS], no. 1, pp. 158-160. (In Russian).

13. Ovchinnikov A.S., Borodychev V.V., Dedova E.B., Sazanov M.A., 2015. *Monitoring vodnykh resursov Respubliki Kalmykiya i problemy ekosistemnogo vodopol'zovaniya v agropromyshlennom komplekse* [Monitoring of water resources of the Republic of Kalmykia and problems of ecosystem water use in the agro-industrial complex]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proc. of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education], no. 3(39), pp. 9-19. (In Russian).

14. Dedova E.B., Shabanov R.M., Dedov A.A., 2019. *Puti povysheniya effektivnosti funktsionirovaniya risovoy orositel'noy sistemy na territorii Sarpinskoy nizmennosti* [Ways to improve the efficiency of the rice irrigation system on the territory of the Sarpinskaya low-land]. *Colloquium-journal*, no. 5(29), pp. 41-43. (In Russian).

15. Dedova E.B., Goldvarg B.A., Tsagan-Mandzhiev N.L., 2020. *Degradatsiya zemel' Respubliki Kalmykiya: problemy i puti ikh vosstanovleniya* [Land degradation in the Republic of Kalmykia: problems and ways of their restoration]. *Aridnye ekosistemy* [Arid Ecosystems], no. 2(83), pp. 63-71, DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10097. (In Russian).

16. Dedova E.B., Dedov A.A., Ivanova V.I., Mandzhieva T.N., 2019. *Problemy vodopol'zovaniya i funktsionirovaniya vodokhozyaystvennogo kompleksa Respubliki Kalmykiya* [Problems of water use and functioning of the water management complex of the Republic of Kalmykia]. *Osnovnye rezul'taty nauchnykh issledovaniy instituta za 2018 god: sbornik nauchnykh trudov* [Main Results of Scientific Research of the Institute for 2018: Proc.]. Moscow, VNIIGiM named after A.N. Kostyakov, pp. 64-73. (In Russian).

17. Scuero A., Vaschetti G., 2019. Rehabilitation of canals with watertight geomembranes, in the dry and underwater. 2nd GeoMEast International Congress and Exhibition on Sustainable Civil Infrastructures. Egypt, pp. 59-76, DOI: 10.1007/978-3-030-01944-0_6.

18. Dedova E.B., Goldvarg B.A., Tsagan-Mandzhiev N.L., 2020. Land degradation of the Republic of Kalmykia: Problems and reclamation methods. *Arid Ecosystems*, vol. 6, no. 2, pp. 140-147, <https://doi.org/10.1134/S2079096120020043>.

19. Rybnikova L.S., Frolova N.L., Morozov M.G., Komin A.V., Rybnikov P.A., 2022. Assessment of the Republic of Kalmykia artificial groundwater resources recharge at the expense of the surface runoff accumulation. International Scientific and Practical Conference on Improving Energy Efficiency, Environmental Safety and Sustainable Development in Agriculture, vol. 979, 012177, DOI: 10.1088/1755-1315/979/1/012177.

20. Dedova E.B., Dedov A.A., 2021. Ecological paradigm for sustainable functioning of reclamation systems in arid territories. International Symposium on Earth Sciences: History, Contemporary Issues and Prospects, vol. 867, 012058, DOI: 10.1088/1755-1315/867/1/012058.

21. Saratirov V.V., 2015. *O probleme degradatsii i opustynivaniya zemel' v Respublike Kalmykiya* [On the issue of land degradation and desertification in the Republic of Kalmykia]. *Sovremennaya nauka: teoreticheskiy i prakticheskiy vzglyad: sbornik statey mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Modern Science: Theoretical and Practical Look: Proc. of International Scientific-Practical Conference]. Ufa, pp. 311-313. (In Russian).

22. Ulanova S.S., Bembeeva O.G., Shaginov P.A., 2019. *Geologicheskie issledovaniya iskusstvennykh vodoemov aridnoy zony i ikh ekotonnykh sistem "voda – susha" na primere Chograyskogo vodokhranilishcha* [Geoecological studies of artificial reservoirs in arid zone and their ecotone systems “water – land” on the example of the Chogray reservoir]. *Astrakhanskiy vestnik ekologicheskogo obozreniya* [Astrakhan Bulletin of Ecological Review], no. 1(49), pp. 87-100. (In Russian).

23. Shumova N.A., 2020. *Analiz klimaticheskikh usloviy v Respublike Kalmykiya za*

1966–2017 гг. [Analysis of climatic conditions in the Republic of Kalmykia for 1966–2017].
Aridnye ekosistemy [Arid Ecosystems], vol. 26, no. 3(84), pp. 23–29, DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10103. (In Russian).

Информация об авторах

Ю. М. Косиченко – главный научный сотрудник, доктор технических наук, профессор;
А. В. Колганов – главный научный сотрудник, доктор технических наук, профессор.

Information about the authors

Yu. M. Kosichenko – Chief Researcher, Doctor of Technical Sciences, Professor;
A. V. Kolganov – Chief Researcher, Doctor of Technical Sciences, Professor.

*Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата,
самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.*

*Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical
violations in scientific publications.*

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

*Статья поступила в редакцию 11.03.2022; одобрена после рецензирования 10.06.2022;
принята к публикации 20.06.2022.*

*The article was submitted 11.03.2022; approved after reviewing 10.06.2022; accepted for
publication 20.06.2022.*