

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕЛИОРАТИВНО- ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Научная статья

УДК 631.67:626.81

Влияние орошения на водные ресурсы реки Шари в Республике Чад

Ирина Викторовна Глазунова¹, Бурку Блама²

^{1, 2}Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева,
Москва, Российская Федерация

¹ivglazunova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4931-2008>

²blama93@mail.ru

Аннотация: **Цель:** количественная оценка воздействия заборов воды для орошения на доступность и динамику водных ресурсов в бассейне реки Шари. **Материалы и методы.** Методология сочетает анализ исторических гидрологических данных, дистанционное зондирование для картирования расширения орошаемых зон и простые модели водного баланса. Объектом исследования являлся водосборный бассейн р. Шари, расположенный на территории Республики Чад, концентрирующий основную часть сельскохозяйственных угодий страны. Идентификация орошаемых площадей с помощью анализа нормализованного вегетационного индекса и индекса влажности почв осуществлялась на основе анализа 30-летних рядов суточных и месячных расходов воды р. Шари. Полевые обследования были проведены среди 150 хозяйств на орошаемых периметрах для сбора информации о типах культур, графиках орошения и методах полива. **Результаты.** При росте орошаемых площадей в бассейне от 45 тыс. га до более 120 тыс. га за 20-летний период, т. е. увеличении почти в 2,7 раза, отмечено значительное сокращение стока р. Шари, более выраженное в засушливый сезон (с февраля по май). Средний минимальный месячный расход снизился за этот период с 350 до примерно 220 м³/с, при этом объемы ежегодных водозаборов для орошения увеличились с 0,45 км³/г в 2000 г. до 1,25 км³/г в 2020 г. Эта ситуация усугубляет уязвимость ресурса, уже находящегося под угрозой из-за последствий изменения климата и повторяющихся засух, тяжело ударяющих по Африке. **Выводы.** В целях совмещения сельскохозяйственного развития и сохранения речной экосистемы сформулированы приоритетные мероприятия, включающие модернизацию систем орошения для повышения их эффективности (капельное орошение, дождевание); создание строгой нормативной базы бурения новых скважин и забора воды; продвижение менее водоемких культур, адаптированных к изменению климата; усиление системы гидрологического и сельскохозяйственного мониторинга для улучшения процесса принятия решений.

Ключевые слова: Шари, Чад, орошение, водные ресурсы, воздействие, управление, водосборный бассейн

Апробация результатов исследования: основные положения статьи доложены на Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы мелиоративно-водохозяйственного комплекса и пути их решения» (г. Новочеркасск, 10 октября 2025 г.).

Для цитирования: Глазунова И. В., Блама Б. Влияние орошения на водные ресурсы реки Шари в Республике Чад // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2025. Т. 97, № 3. С. 154–163.

MODERN PROBLEMS OF LAND RECLAMATION AND WATER INDUSTRIAL COMPLEX AND WAYS TO SOLVE THEM

Original article

Impact of Irrigation on the Water Resources of the Chari River in the Republic of Chad

Irina V. Glazunova¹, Burku Blama²

^{1, 2}Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow,
Russian Federation

¹ivglazunova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4931-2008>

²blama93@mail.ru

Abstract: Purpose: to assess quantitatively the impact of irrigation water withdrawals on water resource availability and dynamics in the Chari River basin. **Materials and methods.** The methodology combines the analysis of historical hydrological data, remote sensing for mapping the irrigated zone expansion, and simple water balance models. The object of the study was the Chari River watershed area, located in the Republic of Chad, where the bulk of the country's agricultural land is concentrated. Irrigated areas were identified using the normalized vegetation index and soil moisture index, based on 30-year series of daily and monthly water discharges of the Chari River. Field surveys were conducted in 150 farms in the irrigated perimeters to collect information on crop types, irrigation schedules, and irrigation methods. **Results.** With the increase of the irrigated area in the basin from 45,000 hectares to over 120,000 hectares over a 20-year period, i.e. of almost 2.7 times, a significant reduction in the Shari River's flow was observed, more pronounced during the dry season (February to May). The average minimum monthly discharge decreased over this period from 350 to approximately 220 m³/s, while annual water withdrawals for irrigation increased from 0.45 km³/year in 2000 to 1.25 km³/year in 2020. This situation aggravates the resource vulnerability which is already under threat from the climate change impacts and the recurring droughts that severely impact Africa. **Conclusions.** To combine agricultural development and the preservation of the river ecosystem, priority measures, namely, modernizing irrigation systems to improve their efficiency (drip irrigation and sprinkling irrigation); creating a strict regulatory framework for drilling new wells and collecting water; promoting less water-intensive crops adapted to climate change; and strengthening hydrological and agricultural monitoring systems to improve decision-making, have been formulated.

Keywords: the Chari River, Chad, irrigation, water resources, impact, management, watershed

Evaluation of the research results: the main provisions of the article were reported at the All-Russian scientific and practical conference “Modern problems of land reclamation and water industrial complex and ways to solve them” (Novocherkassk, October 10, 2025).

For citation: Glazunova I. V., Burku B. Impact of Irrigation on the Water Resources of the Chari River in the Republic of Chad. *Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture*. 2025;97(3):154–163. (In Russ.).

Введение: Река Шари вместе со своим главным притоком Логоне образует важнейшую гидрологическую систему Республики Чад. На ее долю приходится более 90 % поступления воды в о. Чад, которое, в свою очередь, имеет значение для выживания миллионов людей в регионе

Сахеля [1]. В Республике Чад р. Шари является основным источником воды для питьевого водоснабжения, промышленности и, особенно, для орошаемого земледелия, которое является столпом экономики и национальной продовольственной безопасности. В условиях роста населения и изменчивости климата правительство и фермеры активно способствовали развитию орошения для интенсификации сельскохозяйственного производства. Однако, по общему мнению, интенсификация сельскохозяйственного производства, зачастую не спланированная, оказывает большое давление на водные ресурсы [2]. Недавние исследования сообщают о заметном снижении стока реки в период маловодья, вызывая обеспокоенность по поводу устойчивости такой интенсивной эксплуатации. Таким образом, данная статья ставит своей целью проанализировать специфическое воздействие заборов воды для орошения на водные ресурсы бассейна р. Шари в Чаде. Основной целью данного исследования является количественная оценка воздействия заборов воды для орошения на доступность и динамику водных ресурсов р. Шари.

Материалы и методы. Район исследования охватывает водосборный бассейн р. Шари, расположенный на территории Республики Чад, от границы с Центральноафриканской Республикой до впадения реки в о. Чад. Этот регион концентрирует основную часть сельскохозяйственных угодий страны (рисунок 1).

Временные ряды суточных и месячных расходов воды р. Шари на станции Нджамена, охватывающие период 1992–2022 гг., были получены от Управления водных ресурсов Чада (DRHE¹, 2021). Спутниковые снимки Landsat (серии TM, ETM+, OLI) и Sentinel-2 были загружены за 2000, 2010 и 2020 гг. Эти изображения позволяют идентифицировать орошаемые площади с помощью анализа нормализованного вегетационного индекса (NDVI)

¹DRHE (Direction des Ressources en Eau). (2021). Banque de données hydrologiques du Tchad. Ministère de l'Eau et de l'Environnement, N'Djamena.

и индекса влажности почв [3]. Полевые обследования были проведены среди 150 хозяйств на орошаемых периметрах в зонах Бонгор, Манделия и Линия для сбора информации о типах культур, графиках орошения и методах полива.

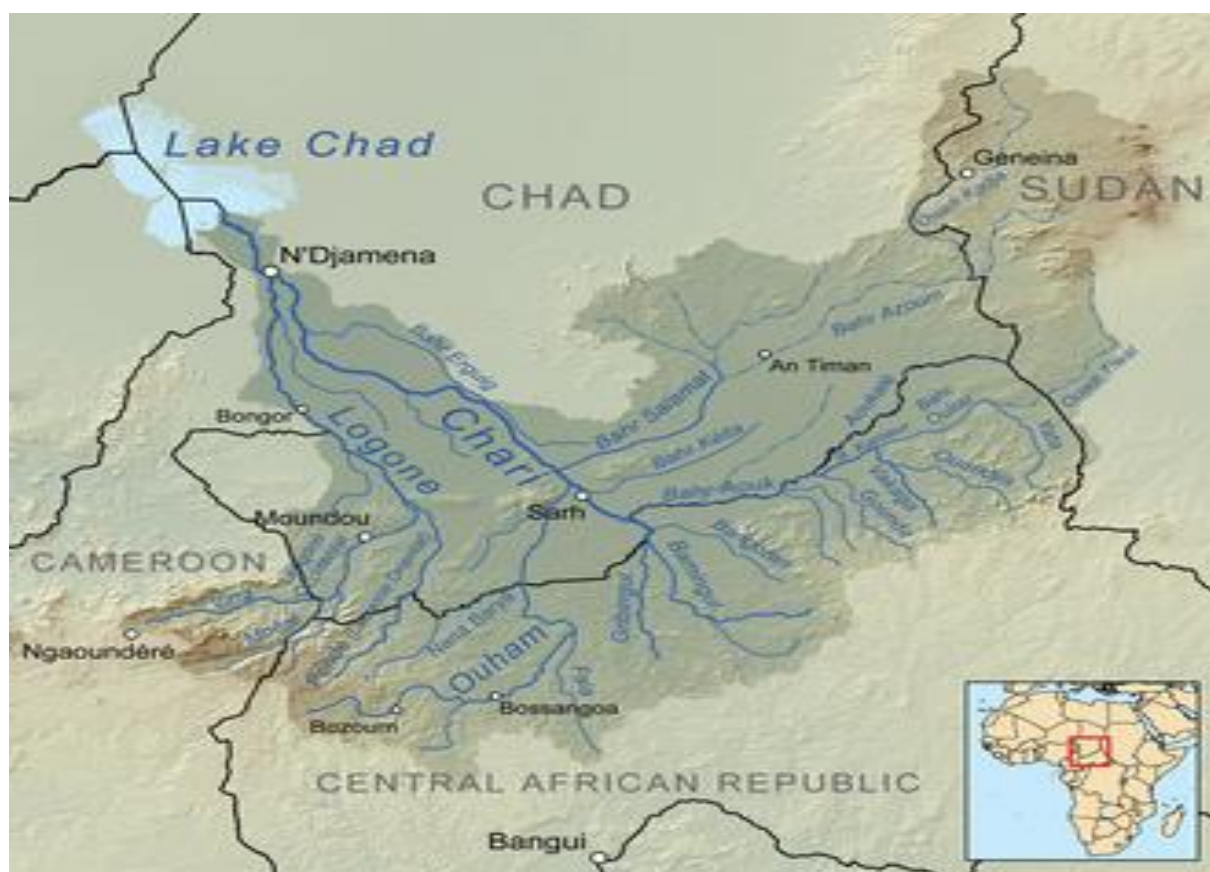


Рисунок 1 – Карта бассейна р. Шари в Республике Чад
(<https://share.google/images/OdWWasDgsvBrvwiRG>)

Figure 1 – Map of the Chari River basin in the Republic of Chad
(<https://share.google/images/OdWWasDgsvBrvwiRG>)

К спутниковым изображениям был применен контролируемый классификационный алгоритм (максимального правдоподобия) для выделения орошаемых зон из не орошаемых. Для выявления возможных разрывов в рядах расходов, указывающих на антропогенное влияние, использовался метод двойных накопленных сумм. Простой регрессионный анализ позволил проверить корреляцию между увеличением орошаемых площадей и снижением расходов в р. Шари в засушливый сезон.

Результаты и обсуждение. Результаты классификации показывают впечатляющий рост орошаемых площадей в бассейне: примерно с 45 тыс. га в 2000 г. до более 120 тыс. га в 2020 г., т. е. увеличение составило почти 2,7 раза. Это расширение в основном локализовано вдоль основного русла Шари и его притоков, вокруг городских центров и в поймах (рисунок 2). Такой быстрый рост в значительной степени объясняется национальной сельскохозяйственной политикой и частной инициативой фермеров.

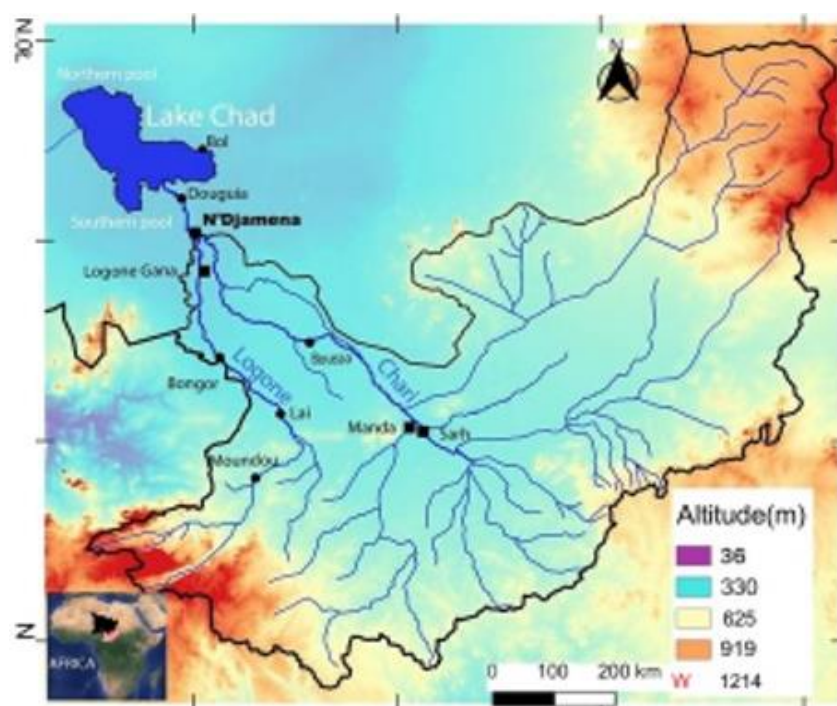


Рисунок 2 – Карта зон орошения р. Шари в Республике Чад

**Figure 2 – Map of irrigation zones of the Chari River
in the Republic of Chad**

Анализ расходов воды в Нджамене выявляет значительную тенденцию к снижению за период исследования, более выраженную в засушливый сезон (с февраля по май) (рисунок 3).

Средний минимальный месячный расход снизился с 350 м³/с в 1990–2000 гг. до примерно 220 м³/с в 2010–2020 гг. Кривая двойных накопленных сумм (сток Шари против стока Логоне, который считается менее затронутым) показывает четкий излом около 2005 г., совпадающий с фазой ускоренного развития орошения.

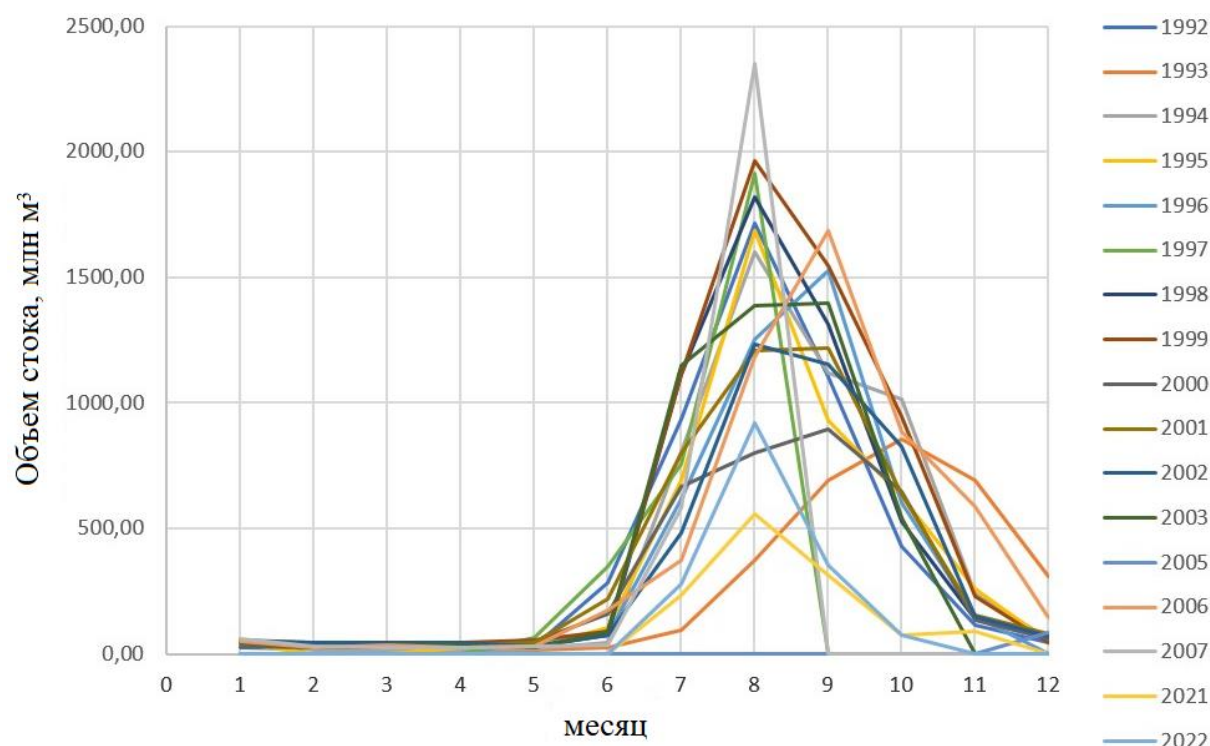


Рисунок 3 – Среднесуточный расход за 1992–2022 гг.
Метеорологическое управление Нджамены
Figure 3 – Average daily flow for 1992–2022
N'Djamena Meteorological Office

Объемы ежегодных водозаборов для орошения увеличилась с 0,45 км³/г. в 2000 г. до 1,25 км³/г. в 2020 г. Хотя эти объемы составляют небольшой процент от общего годового стока Шари (около 40 км³/г.), их влияние непропорционально велико в засушливый сезон. В этот период водозаборы для орошения могут достигать 25–30 % от естественного стока реки [4]. Проведенный регрессионный анализ подтверждает значительную отрицательную корреляцию ($R^2 = 0,75$; $p < 0,01$) между увеличением орошаемых площадей и снижением расходов в засушливый сезон.

Критерий Манна-Кендалла, применяемый к годовым минимальным расходам, показывает статистически значимую тенденцию к снижению ($p < 0,05$) в течение периода 1992–2022 гг. [5].

Качественные воздействия: результаты физико-химического анализа показывают значительное ухудшение ($p < 0,01$) качества воды при движении вниз по течению. Электропроводность, показатель минерализации

увеличиваются от истока к устью в среднем на 35 % в сухой сезон. Средние концентрации нитратов и фосфатов в устье соответственно в 2,5 и 3 раза выше, иногда превышая пороговые значения, установленные для водной флоры и фауны. Также наблюдается умеренное увеличение БПК₅.

Таблица 1 – Результаты физико-химического анализа р. Шари

Table 1 – Results of physicochemical analysis of the Shari River

Параметр	Изменение исток → устье	Наблюдение	Значение / Влияние
Электрическая проводимость	+35 % (в сухой сезон)	Увеличение минерализации	Индикатор химическо- го загрязнения
Концентрация нитратов	в 2,5 раза	Иногда превышает ори- ентировочные нормы для водных организмов	Риск эвтрофикации и токсичности
Концентрация фосфатов	в 3 раза	Иногда превышает ори- ентировочные нормы для водных организмов	Способствует росту водорослей
БПК ₅	умеренное уве- личение	Указывает на рост орга- нического загрязнения	Ухудшение качества воды
Статистическая значимость	$p < 0,01$	Статистически значимое изменение	Качество воды значи- тельно ухудшается

Сильная корреляция между ростом орошаемых площадей и сокращением стока в засушливый сезон указывает на значительное антропогенное воздействие на бассейн р. Шари. Эти результаты согласуются с исследованиями, проведенными в других полузасушливых бассейнах, таких как Нил или Колорадо, где орошение является основным фактором изменения гидрологического режима. Однако важно отметить, что изменчивость климата с возможным снижением количества осадков в верхнем бассейне р. Шари в Центральноафриканской Республике также способствует нагрузке на ресурс² [6]. Сочетание этих двух факторов создает тревожную ситуацию водного стресса.

Снижение стока имеет прямые последствия для экосистемы реки (эрозия водного биоразнообразия, сокращение пойменных земель), для пи-

²The Lake Chad Basin Commission [Electronic resource]. URL: <https://web.archive.org/web/20140409004156/http://www.cbilt.org/en/lake-chad-basin-commission> (date of access: 25.09.2025).

твевого водоснабжения в нижнем течении и для пополнения о. Чад. Кроме того, конкуренция за воду между различными пользователями (фермеры, скотоводы, городское население) может обостриться, создавая потенциальный источник конфликтов. Низкая эффективность систем орошения (в основном самотечных или по бороздам), оцененная менее чем в 40 % в районе исследования, усугубляет расточительное использование ресурса [7, 8].

Выводы. Данное исследование показало, что развитие орошения в чадской части бассейна р. Шари оказывает значительное растущее воздействие на водные ресурсы реки, выражающееся в заметном снижении стока, особенно критичном в засушливый сезон. Хотя орошение необходимо для продовольственной безопасности и экономического развития Чада, его текущая практика не является устойчивой в долгосрочной перспективе.

Таким образом, необходимо направить водную политику в сторону интегрированного управления водными ресурсами. Приоритетные действия должны включать:

- модернизацию систем орошения для повышения их эффективности (капельное орошение, дождевание);
- создание строгой нормативной базы для бурения новых скважин и забора воды;
- продвижение менее водоемких культур, адаптированных к изменению климата;
- усиление системы гидрологического и сельскохозяйственного мониторинга для улучшения процесса принятия решений.

Будущие исследования должны быть сосредоточены на комплексном моделировании, связывающем гидрологию, климат и социально-экономические аспекты для оценки будущих сценариев управления.

Список источников

1. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements / R. G. Allen, L. S. Pereira, D. Raes, M. Smith // FAO Irrigation and drainage. 1998. No. 56. 300 p.

Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2025. Т. 97, № 3. С. 154–163.
Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture. 2025. Vol. 97, no. 3. P. 154–163.

2. Раткович Л. Д., Маркин В. Н., Глазунова И. В. Вопросы рационального использования водных ресурсов и проектного обоснования водохозяйственных систем: Монография. М.: Изд-во РГАУ МСХА, 2014. 218 с. ISBN: 978-5-89231-415-2. EDN: ECEWNP.

3. Bouvet A., Mering C., Hamdi Y. Suivi des surfaces irriguées en zone semi-aride par télédétection: application au bassin du Chari // *Revue de Télédétection*, 2019. Vol. 18(2), P. 105–120.

4. Cie J. E. Hydrologie du bassin du Chari-Logone // *Variabilité naturelle et impacts anthropiques*. Paris: Éditions de l'IRD. 2018. p. 78.

5. Leblanc M., Leduc C., Razack M. Application des données SAR pour le suivi des surfaces inondées dans le bassin du lac Tchad // *Hydrological Sciences Journal*. 2003. Vol. 48. Iss. 2, P. 211–226.

6. Maqrin G., Lemoalle J. L'avenir du lac Tchad: les échelles de l'incertitude // *Le Tchad des lacs*. Marseille: IRD Éditions. 2019. Ch. 16. P. 289–303.

7. Palanisami K., Mohan K., Kakumanu K. R. Climate Change and Agriculture: A Review of Impacts and Adaptations // *Journal of Environmental Management*. 2015. Vol. 148, P. 90–102.

8. Risques naturels dans la région de l'Extrême-Nord du Cameroun et dynamique des extrêmes hydrologiques du système Chari-Logone / F. Saha, M. Tchindjang, J.-G. Dzana, D. Nguemadjita // *Physio-Géo*. 2020. Vol. 15, P. 69–88. DOI: 10.4000/physio-geo.10719. EDN: CHVGGC.

References

1. Allen R.G., Pereira L.S., Rays D., Smith M., 1998. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage, no. 56, 300 p.

2. Ratkovich L.D., Markin V.N., Glazunova I.V., 2014. *Voprosy ratsional'nogo ispol'zovaniya vodnykh resursov i proektnogo obosnovaniya vodokhozyaystvennykh sistem: monografiya* [Issues of Rational Use of Water Resources and Design Justification of Water Management Systems: monograph]. Moscow, Moscow Agricultural Academy RGAU Publ., 218 p., ISBN: 978-5-89231-415-2, EDN: ECEWNP. (In Russian).

3. Bouvet A., Mering C., Hamdi Y., 2019. Suivi des surfaces irriguées en zone semi-aride par télédétection: application au bassin du Chari. *Revue de Télédétection*, vol. 18(2), pp. 105-120.

4. Cie J.E., 2018. Hydrologie du bassin du Chari-Logone. Variabilité naturelle et impacts anthropiques. Paris, Éditions de l'IRD, p. 78.

5. Leblanc M., Leduc C., Razack M., 2003. Application des données SAR pour le suivi des surfaces inondées dans le bassin du lac Tchad. *Hydrological Sciences Journal*, vol. 48, iss. 2, pp. 211-226.

6. Maqrin G., Lemoalle J., 2019. L'avenir du lac Tchad: les échelles de l'incertitude. *Le Tchad des lacs*. Marseille, IRD Éditions. Ch. 16, pp. 289-303.

7. Palanisami K., Mohan K., Kakumanu K.R., 2015. Climate Change and Agriculture: A Review of Impacts and Adaptations. *Journal of Environmental Management*, vol. 148, pp. 90-102.

8. Saha F., Tchindjang M., Dzana J.-G., Nguemadjita D., 2020. Risques naturels dans la région de l'Extrême-Nord du Cameroun et dynamique des extrêmes hydrologiques du système Chari-Logone. *Physio-Géo*, vol. 15, pp. 69-88, DOI: 10.4000/physio-geo.10719, EDN: CHVGGC.

Информация об авторах

И. В. Глазунова – доцент, кандидат технических наук, доцент, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация, ivglazunova@mail.ru;

Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2025. Т. 97, № 3. С. 154–163.
Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture. 2025. Vol. 97, no. 3. P. 154–163.

Блама Бурку – студент-исследователь первого курса аспирантуры в области окружающей среды и управления водными ресурсами, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация, blama93@mail.ru.

Information about the authors

I. V. Glazunova – Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation, ivglazunova@mail.ru;

B. Blama – first-year Postgraduate Research Student in the field of Environment and Water Resources Management, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation, blama93@mail.ru.

*Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.*

*Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
All authors are equally responsible for ethical violations in scientific publications.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.*

*Статья поступила в редакцию 29.09.2025; одобрена после рецензирования 22.10.2025;
принята к публикации 21.11.2025.
The article was submitted 29.09.2025; approved after reviewing 22.10.2025; accepted for
publication 21.11.2025.*