УДК 528.88
DOI: 10.21209/2227-9245-2022-28-7-26-33

СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ ПРОЦЕССОВ ЭВТРОФИРОВАНИЯ УЧАСТКА ТРАНСГРАНИЧНОЙ Р. АРГУНЬ (ХАЙЛАР) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕКТРАЛЬНОГО ИНДЕКСА ЦВЕТЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДОРОСЛЕЙ (SABI), ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ LANDSAT

THE SATELLITE MONITORING OF EUTROPHICATION PROCESSES IN A SECTION OF THE TRANSBOUNDARY ARGUN (KHAILAR) RIVER USING THE SURFACE ALGAL BLOOM INDEX (SABI) ACCORDING TO LANDSAT REMOTE SENSING DATA

К. А. Курганович, Забайкальский государственный университет, г. Чита
naptheodor@mail.ru

K. Kurganovich, Transbaikal State University, Chita

Трансграничная р. Аргунь (Хайлар) практически ежегодно подвержена значительному загрязнению. Пятно поллютантов, формирующееся в результате цветения водорослей, поступления больших масс взвешенных веществ, подвергается разбавлению в естественных природных условиях и этот процесс растягивается на сотни километров вдоль трансграничного участка. *Объектом исследования* является спутниковый мониторинг процессов эвтрофирования на трансграничном участке р. Аргунь. *Эмпирическая база:* для анализа спутниковой информации использовались данные дистанционного зондирования, полученные с использованием облачного сервиса Google Earth Engine, продукт Landsat-8 Surface Reflectance Collection 2 Level 2, атмосферно скорректированная отражающая способность поверхности Земли, выполненная с использованием алгоритма LaSRC (Land Surface Reflectance Code), с пространственным разрешением 30 м. Для оценки влияния интенсивного цветения водорослей в воде р. Аргунь выбран участок длиной 956 км от г. Хайлар (КНР) до с. Аргунск (Россия) за временной период с мая по октябрь 2020 г., соответствующий вегетационному периоду. На основании анализа пространственно-временного изменения спектрального индекса цветения поверхностных водорослей (SABI) выявлены основные участки эвтрофирования и временные интервалы наибольшего ухудшения качества вод р. Аргунь. Максимальные значения индекса SABI свидетельствуют о развитии водорослей у поверхности воды, а низкие или отрицательные значения являются индикатором развития водорослей в более глубоких слоях водной толщи, либо их отсутствия. Отмечено, что индекс SABI наилучшим образом подходит для оценки интенсивности цветения речной воды, не обладающей значительной глубиной, в случаях преимущественно поверхностного сосредоточения водорослей. С целью отделения маски водной поверхности реки для обеспечения извлечения индекса SABI только из пикселей, относящихся к водному объекту, использован спектральный водный индекс MNDWI, положительные значения которого свидетельствуют о принадлежности к водной поверхности. Для оценки возможных источников поступления в речные воды биомассы водорослей выполнен сравнительный анализ изменения SABI в системе пойменных озер вдоль р. Аргунь – Хара-Нур, Бургат-Нур, Хурэтуй, Бара-Нур, Пандза-Нур, Хорубо-Нур, а также оз. Далай-Нор, расположенных на территории КНР

Ключевые слова: *спутниковый мониторинг, эвтрофирование, Landsat, река Аргунь (Хайлар), индекс цветения поверхностных водорослей, SABI, поллютанты, дистанционное зондирование, поверхность Земли, вегетационный период*

The article is devoted to the monitoring of eutrophication processes in the transboundary section of the Argun River according to Landsat 8 OLI remote sensing data. To assess the impact of intense algal blooms in the water of the Argun River, a 956 km long section from the city of Khailar (China) to the village of Argunsk (Russia) was selected

© К. А. Курганович, 2022

for the time period from May to October 2020, corresponding to the growing season. Based on the analysis of spatio-temporal changes in the surface algal bloom index (SABI), the main areas of eutrophication and time intervals of the greatest deterioration in the quality of the waters of the Argun River were identified. The maximum values of the SABI index indicate the development of algae near the water surface, and low or negative values are an indicator of the development of algae in the deeper layers of the water column, or their absence. It is noted that the SABI index is best suited for assessing the intensity of blooming of river water, which does not have a significant depth, in cases of predominantly superficial concentration of algae. In order to separate the mask of the water surface of the river to ensure the extraction of the SABI index only from the pixels related to the water body, the spectral water index MNDWI was used, the positive values of which indicate belonging to the water surface. To assess the possible sources of algae biomass entry into river waters, a comparative analysis of SABI changes in the system of floodplain lakes along the Argun River – Khara-Nur, Burgat-Nur, Khuretuy, Bara-Nur, Pandza-Nur, Khorubo-Nur, Hulun Lake located in China, was carried out

Key words: *satellite monitoring, eutrophication, Landsat, Argun (Khailar) river, surface algae bloom index, SABI, pollutants, remote sensing, earth surface, vegetation period*

Введение. Река Аргунь (Хайлар), являясь пограничной, разделяет территории России и Китая и на разных участках практически ежегодно подвержена значительному загрязнению [1; 4; 18]. Пятно поллютантов, формирующееся в результате цветения водорослей, поступления больших масс взвешенных веществ, подвергается разбавлению в естественных природных условиях и этот процесс растягивается на сотни километров вдоль трансграничного участка (рис. 1). Экстремально высокое загрязнение речных вод сопровождается процессами гниения органической массы, замором рыбы, гибелью представителей разных групп водной фауны. Интенсивное загрязнение наблюдается на участке реки длиной более 500 км от выхода реки на границу России с Китаем и до с. Олочи [2; 3]. Такая ситуация приводит к ухудшению качества жизни населения прибрежных территорий из-за непригодности воды для водопользования [7]. Отдельного рассмотрения требует вопрос источников происхождения трансграничного загрязнения: расположены ли они на территории Китая или в пределах территории России. Таким образом, актуальной является задача мониторинга трансграничных загрязнений вод р. Аргунь [5].

На территории России режимные наблюдения за качеством вод на реках проводятся сетью Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Точки ведомственного мониторинга локально ограничены гидрологическими створами, расстояние между которыми составляет

Рис. 1. Цветение вод р. Аргунь – с. Староцурухайтуй (июль 2020 г.). Фото – А. А. Ушакова /
Fig. 1. Algal blooms of the waters of the Argun River the village of Starotsurukhaytuy (July 2020). Photo by A. A. Ushakov

100...200 км. Наблюдения осуществляются по заранее утвержденным планам и графикам несколько раз в году и не связаны с возможностью оперативно отслеживать пространственно-распределенные загрязнения. По территории КНР данные режимных наблюдений недоступны и выявить причины трансграничного загрязнения не представляется возможным.

В связи с этим возникает необходимость в использовании средств дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для оперативного мониторинга и выявления источников и факторов распространения загрязнений по длине реки. В настоящее время совмещение данных нескольких спутниковых систем позволяет получать космические снимки территории с малыми временными интервалами. За счет упреждения времени добегания воды можно предварительно сообщать о приближающемся пятне загрязнений. Появляется возможность дистанционно выявлять источники ухудшения качественных характеристик вод.

Спутниковый мониторинг загрязнений в водных объектах обычно направлен на изучение оптически активных компонентов – взвешенные вещества, хлорофилл-(а), аллохтонные и автохтонные хромофор-содержащие растворенные органические вещества, так как они оказывают влияние на прозрачность воды, ее цветность и, в связи с этим, на отражающую способность в разных спектральных диапазонах. Для такого анализа используется оценка применимости спектральных индексов и других характеристик, для которых устанавливаются регрессионные зависимости между спектральной отражающей способностью и содержанием загрязняющих веществ в воде.

Методы и материалы. Дистанционный спутниковый мониторинг загрязнений в воде предполагает определение концентраций лишь некоторых оптически активных компонентов. Наиболее общей характеристикой качества воды является показатель прозрачности по диску Секки. Для контроля наличия фотосинтетически активных компонентов в воде, обусловленных развитием фитопланктона, используется показатель содержания хлорофилла-*(а)*, для оценки количества неорганических или органических грубодисперсных примесей используется показатель общего содержания взвешенных веществ. Аллохтонные и автохтонные хромофор-содержащие растворенные органические вещества придают воде окраску и представляют возможность косвенной оценки содержания тяжелых металлов, насыщения воды углекислым газом и другими формами углерода [15].

Для получения соотношений наземных гидрохимических наблюдений и данных спутникового мониторинга загрязнений вод используется большое количество математических моделей и алгоритмов. Наиболее простые эмпирические зависимости передают линейные взаимосвязи между отражающей способностью речной воды на выбранном участке спектра для канала спутникового изображения и измеренными характеристиками в точке отбора гидрохимических проб [15]. Более сложные эмпирические зависимости базируются на расчете различных мультиспектральных индексов на основании большого объема эмпирических данных. Наиболее используемыми являются индекс цветения поверхностных водорослей (SABI) [8], нормализованный разностный индекс хлорофилла (NDCI) [14], индекс максимального количества хлорофилла (MCI) [12], индекс взвешенной доли водорослей (FAI) [13]. Для исследования условий развития водной растительности применение получили вегетационные индексы, используемые обычно в различных модификациях и для оценки состояния растительного покрова суши – (NDVI) [14], двухканальный (2BDA) и трехканальный индексы (3BDA) [11].

Большое разнообразие исходных данных, гидрохимических показателей и вариантов их совместного анализа определяет вариативность при выборе подходов для выполнения дистанционных исследований эвтрофирования.

Одним из распространенных спектральных индексов для исследования биомассы водорослей является индекс цветения поверхностных водорослей (SABI) [8]. Алгоритм определения SABI основан на исследовании отклика отражающей способности водной растительности в инфракрасном диапазоне. При этом, в отличие от вегетационных индексов наземной растительности (например NDVI), для включения в рассмотрение водной составляющей используются зеленый и синий спектральные диапазоны, как характеристики соответственно водорослей в толще воды и отражения чистой незагрязненной воды. Индекс SABI использован разработчиками метода для спутниковых данных, полученных с сенсора MODIS. При этом практика показывает

возможность его использования и с другими датчиками дистанционного зондирования, в том числе Landsat [9]. Для данных Landsat 8 OLI формула для вычисления SABI выглядит следующим образом.

$$SABI = \frac{\rho_{band5} - \rho_{band4}}{\rho_{band2} + \rho_{band3}}, \quad (1)$$

где $\rho_{band2,3,4,5}$ – интенсивность излучения во 2-5-м спектральных каналах Landsat 8 OLI.

Положительные значения индекса SABI свидетельствуют об относительно высокой фотосинтетической активности водорослей, при этом важным фактором является пространственное положение водорослей в толще воды. Максимальные значения индекса свидетельствуют о развитии водорослей у поверхности воды, а низкие или отрицательные значения являются индикатором развития водорослей в более глубоких слоях водной толщи либо их отсутствием [8]. Таким образом, индекс SABI наилучшим образом подходит для оценки интенсивности цветения речной воды, не обладающей значительной глубиной, в случаях преимущественно поверхностного сосредоточения водорослей.

С целью отделения маски водной поверхности реки для обеспечения извлечения индекса SABI только из пикселей, относящихся к водному объекту, используется спектральный водный индекс MNDWI, положительные значения которого свидетельствуют о принадлежности к водной поверхности [17].

$$MNDWI = \frac{\rho_{band3} - \rho_{band6}}{\rho_{band3} + \rho_{band6}}, \quad (2)$$

где $\rho_{band3,6}$ – интенсивность излучения в 3-м и 6-м спектральных каналах Landsat 8 OLI.

Результаты исследования и их обсуждение. Для оценки влияния интенсивного цветения водорослей в воде р. Аргунь выбран участок длиной 956 км от г. Хайлар (КНР) до с. Аргунск (Россия) за временной период с мая по сентябрь, соответствующий вегетационному периоду.

Для анализа спутниковой информации использовались данные дистанционного зондирования, полученные с использованием облачного сервиса Google Earth Engine, объединяющего различные спутниковые платформы и коллекции. Использован продукт Landsat-8 Surface Reflectance Collection 2 Level 2 – атмосферно скорректированная отражающая способность поверхности Земли, выполненная с использованием алгоритма LaSRC (Land Surface Reflectance Code), с пространственным разрешением 30 м [16]. Пиксели, занятые облаками, отделялись по набору данных Landsat *QA_Pixel*, в котором фильтрация облачности проведена с использованием алгоритма CFMask [10].

Получение и обработка данных дистанционного зондирования производились с использованием языка программирования Python с модулями по обработке изображений, статистического, геопространственного анализа (GDAL, skimage, geopandas, rasterio).

Исходя из предположения об инерционности процессов переноса примесей в реке, для удаления пропусков индексов SABI, связанных с облачностью, по временному масштабу значения индексов SABI усреднялись сплайн-интерполяцией с периодом 8 суток, по длине реки – скользящим окном с расстоянием 10 км. В результате получалась непрерывная пространственно-временная картина изменения индекса SABI на исследуемом участке (рис. 2).

Анализ проведен по данным Landsat 8 OLI за 2020 г. Выбранный период характеризовался низкой водностью и значительным визуально наблюдаемым цветением воды. Свидетельства цветения имеются на участке реки в с. Староцурухайтуй и зафиксированы на фотоснимках (рис. 3).

На пространственно-временной диаграмме индекса SABI (рис. 4) отмечаются области повышенных значений индекса цветения водорослей на участке от с. Кайластуй до с. Староцурухайтуй за период с июля по сентябрь в 2020 г. (SABI > 0,2) и небольшие локальные максимумы на участке от выхода р. Аргунь на границу КНР с Россией до с. Аргунск. Максимальные значения индекс SABI принимал в период от 25 июня по 15 июля 2020 г. на участке от с. Кайластуй до с. Дурой. Такое распределение значений SABI может быть связано с благоприятными условиями для эвтрофирования из-за низких скоростей потока р. Аргунь в период низкой водности на данном участке.

Одним из возможных факторов поступления в речные воды биомассы водорослей является система пойменных озер вдоль р. Аргунь, некоторые из них имеют связь с основным протоком реки. Озера Хара-Нур, Бургат-Нур, Хурэтуй, Бара-Нур, Пандза-Нур, Хорубо-Нур, расположены на территории КНР вдоль участ-

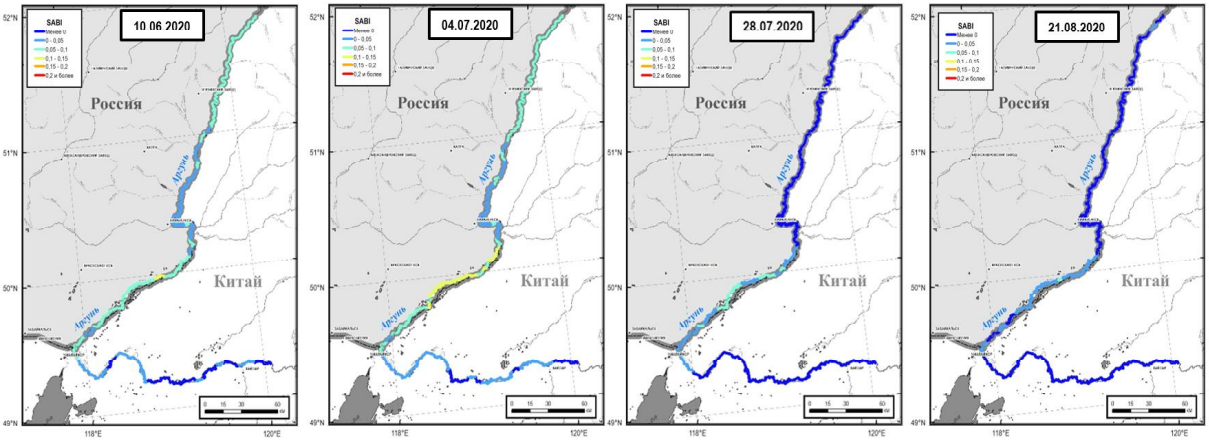

Рис. 2. Изменение индекса SABI по длине р. Аргунь в 2020 г. /
Fig. 2. Changes in the SABI index along the length of the Argun River in 2020

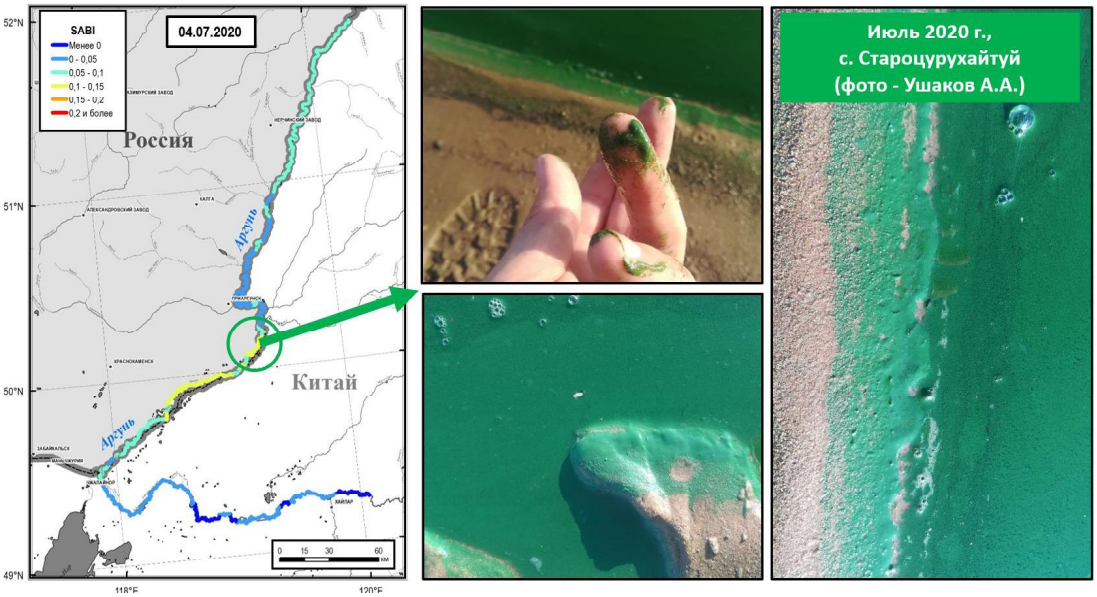

Рис. 3. Распределение индекса SABI на участке р. Аргунь в начале июля 2020 г. и фотофиксация процесса цветения воды в этот период / Fig. 3. Distribution of the SABI index in the section of the Argun River at the beginning of July 2020 and photographic recording of the water bloom process during this period

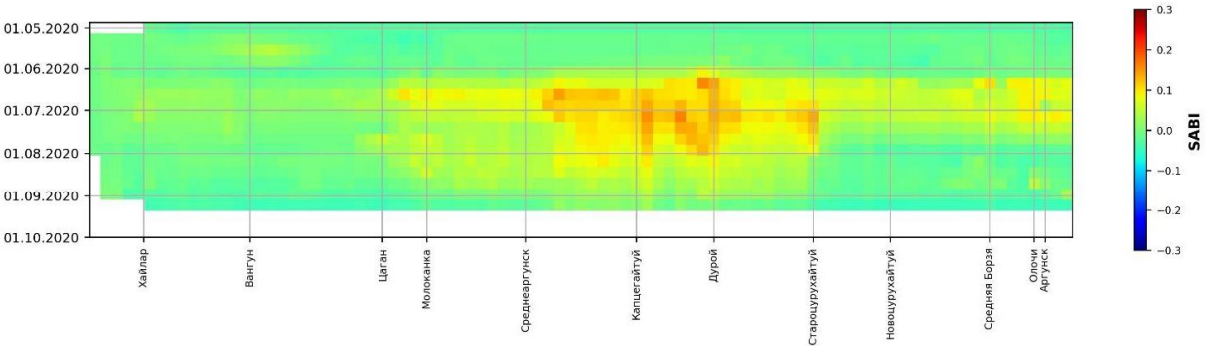

Рис. 4. Диаграмма пространственно-временного распределения значений индекса SABI (Landsat 8) по основному руслу р. Аргунь в 2020 гг. / Fig. 4. Spatio-temporal distribution of the SABI index (Landsat 8) along the section of the Argun River in 2020

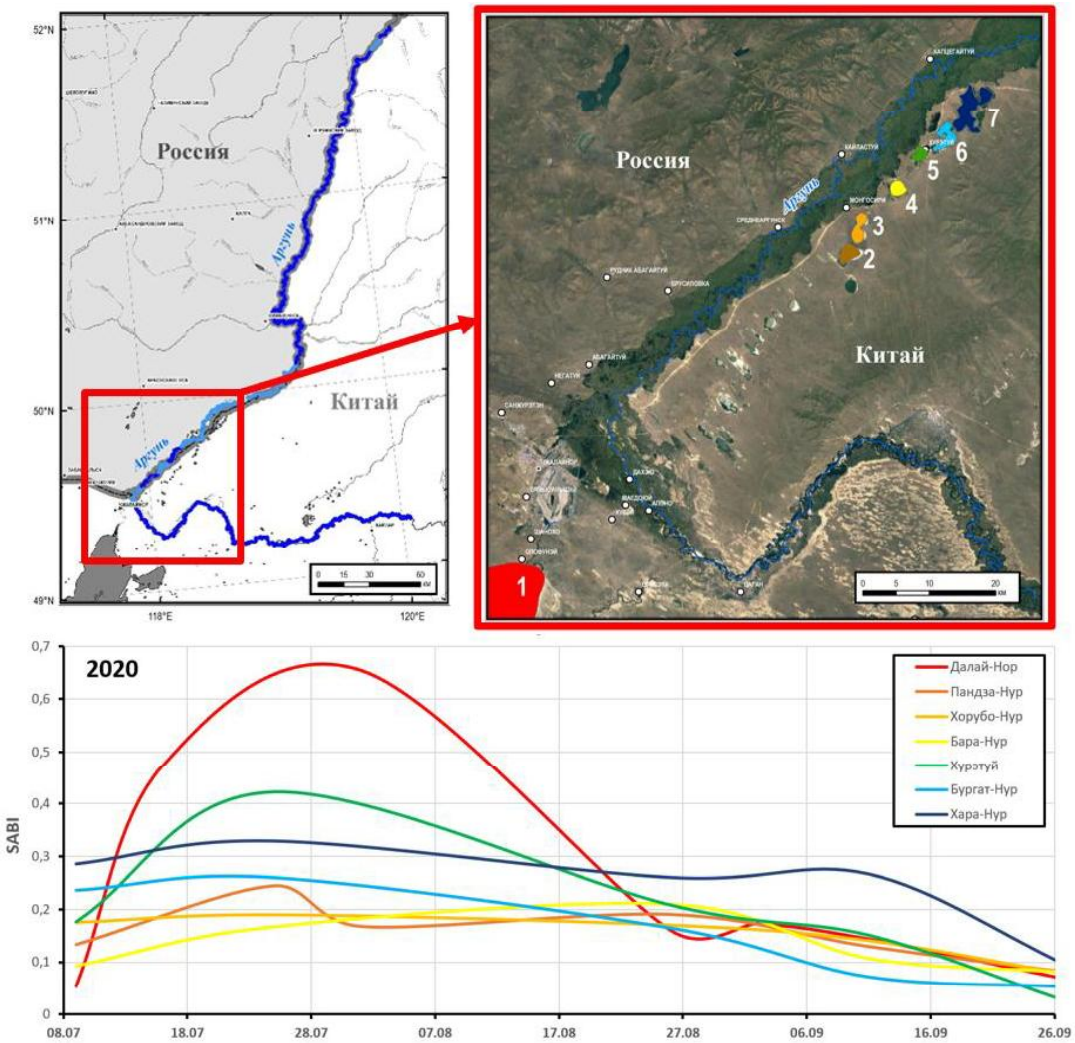

Рис. 5. Распределение индекса SABI в озёрах на территории КНР за период июнь-сентябрь 2020 г.: 1 – Далай-Нор, 2 – Пандза-Нур, 3 – Хорубо-Нур, 4 – Бара-Нур, 5 – Хурэтуй, 6 – Бургат-Нур, 7 – Хара-Нур / Fig. 5. Distribution of the SABI index in lakes in China for the period June-September 2020: 1 – Dalai-Nor (Hulun Lake), 2 – Pandza-Nur, 3 – Khorubo-Nur, 4 – Bara-Nur, 5 – Khuretuy, 6 – Burgat-Nur, 7 – Khara-Nur

ка с. Кайластуй – с. Дурой [6] (рис. 5). Часть из них соединены с протоками реки через специально прорытые канавы, за счет чего обеспечивается обмен озерных и речных вод.

Анализ изменения SABI в пойменных озерах свидетельствует о высоких значениях индекса в середине июля – августа (SABI > 0,4) и позволяет сделать вывод о поступлении дополнительной биомассы водорослей из озер. Также отмечается след от поступления загрязненных вод с оз. Далай-Нор, находящегося на территории КНР, через болото Эрка, по протоке Мутная. Значения SABI в оз. Далай-Нор в период конца июля достигали более 0,6. Поступление вод с оз. Далай-Нор в р. Аргунь регулируется системой гидротехнических сооружений, поэтому возможное загрязнение речных вод носит антропогенный характер.

Заключение. Мониторинг процессов эвтрофирования вод трансграничных рек осложняется невозможностью обеспечения доступа к источникам загрязнения, зачастую расположенным в другом государстве. Поэтому косвенная оценка, сделанная по пространственно-временным диаграммам изменения спектральных индексов SABI, полученным по данным спутникового зондирования Landsat, представляет дополнительные варианты осуществления мониторинга по всем участкам водных объектов.

Список литературы

1. Босов М. А., Заслоновский В. Н., Зыкова Е. Х., Казыкина С. М., Курганович К. А., Наделяева Н. Н., Соколов А. В., Солодухин А. А., Шаликовский А.В., Шаликовский Д.А. Результаты комплексных исследований водного режима, русловых процессов и экологического состояния реки Аргунь // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2019. № 4. С. 93–113.

2. Емельянова В. П., Оленникова Н. Н. Динамика загрязненности, качества воды реки Аргунь и протоки Прорва в районе п. Молоканка (2007–2020 гг.) // Трансграничные водные объекты: использование, управление, охрана: сборник материалов Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Новочеркасск: Лик, 2021. С. 120–126

3. Емельянова В. П., Оленникова Н. Н. Тенденции многолетних изменений загрязненности, качества воды реки Аргунь на участке с. Кути – с. Олочи (2007-2020 гг.) // Трансграничные водные объекты: использование, управление, охрана: сборник материалов Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Новочеркасск: Лик, 2021. С. 126–132

4. Заслоновский В. Н., Босов М. А., Раенко Н. К. Оценка качества вод пограничной реки Аргунь с экологических позиций // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2020. № 4. С. 36–51.

5. Казыкина С. М., Зыкова Е. Х. Оценка качества воды р. Аргунь и ее притоков по водным организмам // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. 2019. № 8. С. 56–65.

6. Манилюк Т. А., Маслова А. В. Исследование водных поверхностей озер путем использования водных индексов по данным дистанционного зондирования // Вестник Забайкальского государственного университета. 2017. Т. 23. № 3. С. 4–11.

7. Шаликовский А. В., Заслоновский В. Н., Курганович К. А., Босов М. А., Солодухин А. А., Шаликовский Д. А. Современная ситуация на пограничном участке реки Аргунь // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2018. № 2. С. 4–18.

8. Alawadi F. Detection of surface algal blooms using the newly developed algorithm surface algal bloom index (SABI). Текст: электронный // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2010. Vol. 7825. URL: https://doi.org/10.1117/12.862096 (дата обращения: 21.08.2022).

9. Boucher J., Weathers K. C., Norouzi H., Steele B. Assessing the effectiveness of Landsat 8 chlorophyll a retrieval algorithms for regional freshwater monitoring // Ecological Applications. 2018. Vol. 4. Pp. 1–11.

10. Foga S., Scaramuzza P. L., Guo S. Cloud detection algorithm comparison and validation for operational Landsat data products // Remote Sensing of Environment. 2017. Vol. 194. Pp. 379–390.

11. Gitelson A. A., Gritz Y., Merzlyak M. N. Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves // Journal of Plant Physiology. 2003. Vol. 160. Pp. 271–282.

12. Gower J., King S., Goncalves P. Global monitoring of plankton blooms using MERIS MCI // International Journal of Remote Sensing. 2008. Vol. 29. Pp. 6209–6216.

13. Hu C. A novel ocean color index to detect floating algae in the global oceans // Remote Sensing of Environment. 2009. Vol. 113. Pp. 2118–2129.

14. Mishra S., Mishra D.R. Normalized difference chlorophyll index: A novel model for remote estimation of chlorophyll-a concentration in turbid productive waters // Remote Sensing of Environment. 2012. Vol. 117. Pp. 394–406.

15. Topp S.N., Pavelsky T. M., Jensen D., Simard M., Ross M. R. V. Research Trends in the Use of Remote Sensing for Inland Water Quality Science: Moving Towards Multidisciplinary Applications // Water. 2020. Vol. 12. Pp.169–205.

16. Vermote E., Roger J.C., Franch B., Skakun S. LaSRC (Land Surface Reflectance Code): Overview, application and validation using MODIS, VIIRS, LANDSAT and Sentinel 2 data's. Текст: электронный // International Geoscience and Remote Sensing Symposium. July 2018. URL: https://doi.org/10.1109/IGARSS.2018.8517622 (дата обращения: 21.08.2022).

17. Xu H. Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery // International Journal of Remote Sensing. 2006. Vol. 27. Pp. 3025–3033

18. Zykova E. H. Species diversity of zooplankton in the Argun River basin in 2018 // Limnology and Freshwater Biology. 2020. Vol. 4. Pp. 771–772.

References

1. Bosov M. A., Zaslonovsky V. N., Zykova E. Kh., Kazykina S. M., Kurganovich K. A., Nadelyaeva N. N., Sokolov A. V., Solodukhin A. A., Shalikovsky A. V., Shalikovsky D. A. *Vodnoe hozyaystvo Rossii: problemy, tehnologii, upravlenie* (Water management of Russia: problems, technologies, management), 2019, no. 4, pp. 93–113.

2. Emelyanova V. P., Olennikova N. N. *Transgranichnye vodnye obekty: ispolzovanie, upravlenie, ohrana* (Transboundary water objects: use, management, protection). Novocherkassk: Lik, 2021. Pp. 120–126

3. Emelyanova V. P., Olennikova N. N. *Transgranichnye vodnye obekty: ispolzovanie, upravlenie, ohrana* (Transboundary water bodies: use, management, protection). Novocherkassk: Lik, 2021. Pp. 126–132

4. Zaslonovsky V. N., Bosov M. A., Raenko N. K. *Vodnoe hozyaystvo Rossii: problemy, tehnologii, upravlenie* (Water management of Russia: problems, technologies, management), 2020, no. 4, pp. 36–51.

5. Kazykina S. M., Zykova E. Kh. Chteniya pamyati Vladimira Yakovlevicha Levanidova (Readings in memory of Vladimir Yakovlevich Levanidov), 2019, no. 8, pp. 56–65.

6. Manilyuk T. A., Maslova A. V. *Vestnik Zabaykalskogo gosudarstvennogo universiteta* (Bulletin of the Transbaikal State University), 2017, vol. 23, no. 3, pp. 4–11.

7. Shalikovsky A.V., Zaslonovsky V. N., Kurganovich K. A., Bosov M. A., Solodukhin A. A., Shalikovsky D. A. Vodnoe hozyaystvo Rossii: problemy, tehnologii, upravlenie (Water industry of Russia: problems, technologies, management), 2018, no. 2, pp. 4–18.

8. Alawadi F. The International Society for Optical Engineering. 2010. Available at: https://doi.org/10.1117/12.862096 (date of access: 21.08.2022). Text: electronic.

9. Boucher J., Weathers K.C., Norouzi H., Steele B. Ecological Applications, 2018, no. 4, pp. 1–11.

10. Foga S., Scaramuzza P.L., Guo S. Remote Sensing of Environment, 2017, vol. 194, pp. 379–390.

11. Gitelson A. A., Gritz Y., Merzlyak M. N. Journal of Plant Physiology, 2003, vol. 160, pp. 271–282.

12. Gower J., King S., Goncalves P. International Journal of Remote Sensing. 2008, vol. 29, pp. 6209–6216.

13. Hu C. Remote Sensing of Environment, 2009, vol.113, pp. 2118–2129

14. Mishra S., Mishra D.R. Remote Sensing of Environment, 2012, vol. 117, pp. 394–406

15. Topp S.N., Pavelsky T.M., Jensen D., Simard M., Ross M.R.V. Water, 2020, vol. 12, pp.169–205.

16. Vermote E., Roger J.C., Franch B., Skakun S. International Geoscience and Remote Sensing Symposium. July 2018. Available at: https://doi.org/10.1109/IGARSS.2018.8517622 (date of access: 21.08.2022). Text: electromic.

17. Xu H. International Journal of Remote Sensing, 2006, vol. 27, pp. 3025–3033.

18. Zykova E. H. Limnology and Freshwater Biology, 2020, vol. 4, pp. 771–772.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Гранта СНиД ЗабГУ № 357-ГР /
This work was supported by a grant from TransbSU No. 357 – ГР

Информация об авторе **Information about the author**

Курганович Константин Анатольевич, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой водного хозяйства, экологической и промышленной безопасности, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. *Область научных интересов:* моделирование гидрологических процессов, дистанционное зондирование Земли
naptheodor@mail.ru

Konstantin Kurganovich, candidate of technical sciences, associate professor, head of the Water Management and Engineering Ecology department, Transbaikal State University, Chita, Russia. *Research interests:* modeling of hydrological processes, remote sensing of the environment

Для цитирования

Курганович К. А. Спутниковый мониторинг процессов эвтрофирования участка трансграничной р. Аргунь (Хайлар) с использованием спектрального индекса цветения поверхностных водорослей (SABI), по данным дистанционного зондирования Landsat // Вестник Забайкальского государственного университета. 2022. Т. 28, № 7. С. 26–33. DOI: 10.21209/2227-9245-2022-28-7-26-33.

Kurganovich K. The satellite monitoring of eutrophication processes in a section of the transboundary Argun (Khailar) River using the surface algal bloom index (SABI) according to Landsat remote sensing data // Transbaikal State University Journal, 2022, vol. 28, no. 7, pp. 26–33. DOI: 10.21209/2227-9245-2022-28-7-26-33.

Статья поступила в редакцию: 25.08.2022 г.
Статья принята к публикации: 14.09.2022 г.