

Косарев А.В.¹, Иванов Д.Е.^{1,2}, Микеров А.Н.^{1,3}, Савина К.А.¹, Валеев Т.К.⁴, Сулейманов Р.А.⁴

Применение геоинформационных технологий и дистанционного зондирования Земли для оценки влияния аридности территории на качество воды малых рек

¹Саратовский медицинский научный центр гигиены ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 410022, Саратов, Россия;

²ФГБОУ ВО «Саратовская государственная юридическая академия», 410056, Саратов, Россия;

³ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет имени В.И. Разумовского», 410012, Саратов, Россия;

⁴ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека» Роспотребнадзора, 450106, Уфа, Россия

Введение. Актуальность работы для профилактической медицины обусловлена необходимостью оценки влияния засушливости климата на гигиеническую безопасность питьевой воды.

Цель работы — определение влияния степени засушливости аридных регионов России на гигиеническую безопасность питьевой воды, подготовленной из поверхностных водоисточников.

Материалы и методы. Объект исследования — вода малых рек, расположенных в засушливых районах Саратовской области и Республики Башкортостан. Содержание поллютантов в воде определяли методами атомно-абсорбционной спектроскопии, спектрофотометрии, потенциометрии. Космоснимки для реализации дистанционного зондирования Земли получены в геоинформационном каталоге earthexplorer.usgs.gov, обработку снимков и картографирование изучаемых территорий проводили с помощью программы QGIS, версия 3.12.3.

Результаты. С помощью метода дистанционного зондирования Земли впервые выявлено, что малоаридным районам Республики Башкортостан соответствуют низкие положительные значения индекса засушливости NDMI, тогда как для районов Саратовской области характерны отрицательные значения NDMI. Впервые установлена статистически достоверная корреляция между гигиенической опасностью, обусловленной присутствием в воде загрязняющих химических веществ, характерных для аридных территорий, и изменением величины индекса засушливости NDMI. Наибольший вклад в формирование неканцерогенной опасности воды малых рек в условиях потепления климата вносят биогенный азот, железо и марганец.

Заключение. С помощью метода дистанционного зондирования Земли впервые показано, что малоаридным районам Республики Башкортостан соответствуют низкие положительные значения индекса засушливости NDMI, а для аридных районов Саратовской области характерны отрицательные значения NDMI. Впервые установлена корреляционная взаимосвязь между увеличением степени засушливости аридных регионов России и повышением неканцерогенного риска здоровью, обусловленного употреблением питьевой воды, подготовленной из поверхностных водоисточников.

Ключевые слова: неканцерогенный риск; дистанционное зондирование Земли; засушливость; малые реки; Саратовская область; Республика Башкортостан; гигиеническая безопасность воды

Для цитирования: Косарев А.В., Иванов Д.Е., Микеров А.Н., Савина К.А., Валеев Т.К., Сулейманов Р.А. Применение геоинформационных технологий и дистанционного зондирования Земли для оценки влияния аридности территории на качество воды малых рек. *Гигиена и санитария*. 2021; 100(10): 1052-1059. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-10-1052-1059>

Для корреспонденции: Косарев Антон Валериевич, канд. хим. наук, доцент, науч. сотр. лаб. химико-биологического мониторинга качества воды Саратовского медицинского научного центра гигиены ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», 410022, Саратов. E-mail: aleteia@inbox.ru

Участие авторов: Косарев А.В. — концепция и дизайн исследования, вычислительная работа, написание текста статьи; Иванов Д.Е. — концепция и дизайн исследования, обсуждение результатов; Микеров А.Н. — концепция и дизайн исследования, редактирование, обсуждение результатов, утверждение окончательного варианта; Савина К.А. — экспериментальная работа, сбор и обработка материала, редактирование; Валеев Т.К. — обсуждение результатов; Сулейманов Р.А. — обсуждение результатов. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила 16.07.2021 / Принята к печати 28.09.2021 / Опубликовано 31.10.2021

Anton V. Kosarev¹, Dmitry E. Ivanov^{1,2}, Anatoliy N. Mikerov^{1,3}, Kseniya A. Savina¹, Timur K. Valeev⁴, Raphail A. Suleimanov⁴

Application of geoinformation technologies and remote sensing of the Earth to assess the impact of aridity of the territory on the water quality of small rivers

¹Saratov Hygiene Medical Research Center of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Saratov, 410022, Russian Federation;

²Saratov State Law Academy, Saratov, 410056, Russian Federation;

³Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky, Saratov, 410012, Russian Federation;

⁴Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology, Ufa, 450106, Russian Federation

Introduction. The relevance of the work for preventive medicine is due to the need to assess the impact of climate aridity on the hygienic safety of drinking water.

The aim of the work is to determine the influence of the degree of aridity of the arid regions of Russia on the hygienic safety of drinking water prepared from surface water sources.

Materials and methods. The objects of the study are the water of small rivers located in the arid regions of the Saratov Region and the Republic of Bashkortostan. The content of pollutants in water was determined by atomic absorption spectrometry, spectrophotometry, and potentiometry. Satellite images for the implementation of remote sensing of the Earth are obtained in the geoinformation catalogue earthexplorer.usgs.gov. Image processing and mapping of the studied territories was carried out using the QGIS software, version 3.12.3.

Results. Using the method of remote sensing of the Earth, it was revealed for the first time that the low-arid regions of the Republic of Bashkortostan correspond to positive NDMI values. In contrast, the areas of the Saratov region are characterized by negative NDMI values. For the first time, a statistically significant correlation has been established between the hygienic hazard caused by polluting chemicals in water, typical for arid territories and the change in the aridity index NDMI. Biogenic nitrogen, iron, and manganese make the most significant contribution to the formation of the non-carcinogenic danger of small river waters in the conditions of climate warming.

Conclusion. We have shown for the first time using the remote sensing method of the Earth that low-arid regions of the Republic of Bashkortostan correspond to low positive values of the aridity index NDMI than for the areas of the Saratov region characterized by negative NDMI values. For the first time, a correlation was established between an increase in the degree of aridity of arid areas of Russia and an increase in non-carcinogenic health risk due to the use of drinking water prepared from surface water sources.

Keywords: non-carcinogenic risk; remote sensing of the Earth; aridity; small rivers; Saratov region; Republic Bashkortostan; hygienic safety of the water

For citation: Kosarev A.V., Ivanov D.E., Mikerov A.N., Savina K.A., Valeev T.K., Suleimanov R.A. Application of geoinformation technologies and remote sensing of the Earth to assess the impact of aridity of the territory on the water quality of small rivers. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(10): 1052-1059. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-10-1052-1059> (In Russ.)

For correspondence: Anton V. Kosarev, MD, PhD, researcher of the Laboratory chemical and biological monitoring of water quality, Saratov Hygiene Medical Research Center of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Saratov, 410022, Russian Federation. E-mail: aleteia@inbox.ru

Information about authors:

Kosarev A.V., <https://orcid.org/0000-0002-6614-7297> Mikerov A.N., <https://orcid.org/0000-0002-0670-7918> Ivanov D.E., <https://orcid.org/0000-0001-8162-9019>
Savina K.A., <https://orcid.org/0000-0003-4878-8784> Valeev T.K., <https://orcid.org/0000-0001-7801-2675> Suleimanov R.A., <https://orcid.org/0000-0002-4134-5828>

Contribution: Kosarev A.V. – concept and design of research, computational work, writing of the text of the article; Ivanov D.E. – concept and design of the study, discussion of the results; Mikerov A.N. – concept and design of research, editing, discussion of results, approval of the final version; Savina K.A. – experimental work, collection and processing of material, editing; Valeev T.K. – discussion of the results, Suleimanov R.A. – discussion of the results. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: July 16, 2021 / Accepted: September 28, 2021 / Published: October 31, 2021

Введение

Потепление климата является одной из наиболее насущных проблем современности. Поскольку изменяющиеся климатические условия значительно влияют на химический состав воды, то оценка рисков, обусловленных гигиеническим качеством водоисточников в засушливых районах, в настоящее время является актуальной. Для количественных оценок влияния климатических факторов широкое применение находят методы дистанционного зондирования Земли, реализованные на ГИС-платформах. Эти методы применяются для оценки возможностей местных водных ресурсов при выполнении задачи повышения водоресурсного потенциала аридных зон, а также для уточнения показателей состояния обеспеченности водными ресурсами засушливых регионов с последующей их графической визуализацией и анализа развития ландшафтов под влиянием факторов засушливости [1–4]. Методы спутникового мониторинга позволяют сократить время и ресурсы на реализацию наземного осмотра при решении задачи оценки рисков и провести его дистанционно и бесплатно [5, 6]. Отношение количества осадков к потенциальному испарению, а также величина альбедо к исследованию аридности несут информацию о глобальных процессах опустынивания [7, 8]. При этом исследование динамики аридности показывает большую сходимость, если оно осуществлялось с помощью технологии дешифрирования космоснимков на основе данных, собранных в весенний и летний сезоны, нежели чем в весенний и осенний сезоны [9]. Сезонные колебания засушливости изучали на основе радиометрического сканирования по параметрам солёности и влажности, а также путём анализа вегетационных индексов NDVI AVHRR, SPI и метеорологических данных NCEP/NCAR [10–13]. При этом различные ландшафты могут быть охарактеризованы разной величиной вегетационного индекса, альбедо и температуры поверхности [14]. Наблюдается положительная корреляция между влажностью и поверхностной температурой почвы, температурно-вегетационным (TVDI) и нормализованным вегетационным (NDVI) индексами и поверхностной температурой почвы [15].

Данные дистанционного зондирования Земли уже успешно применяются для реализации риск-ориентированного подхода в задаче оценки влияния климата на распространение инфекционных заболеваний в регионе [16–18]. Задача оценки влияния засушливости климата на гигиеническую безопасность питьевой воды для жителей аридных территорий является актуальной с точки зрения профилактической медицины, но, к сожалению, ещё мало разработанной к настоящему времени.

Основными загрязняющими веществами, определяющими наличие гигиенических рисков здоровью, обусловленных водопотреблением в аридных территориях, являются железо и сопутствующий марганец, наличие которых в воде связано с деятельностью железовосстанавливающих бактерий и внутрипластовым обменом с подстилающими породами [19]. Также к приоритетным загрязнениям относится биогенный азот, включающий в себя нитриты, нитраты и аммоний [20], наличие которых в воде засушливых зон в условиях повышающейся температуры связано с интенсивным гниением органических соединений в придонном слое водных объектов и активным применением удобрений на прилегающих территориях. Кроме того, водоёмы аридных зон могут содержать фториды, мышьяк, свинец, медь [21–24]. При этом основными факторами, влияющими на качество воды из водоисточников на аридных территориях, являются процессы выветривания.

Важность изучения проблемы гигиенической безопасности питьевой воды, в частности, иллюстрируется примером того, что несоблюдение мер гигиенической безопасности питьевого водоснабжения из поверхностных водоисточников в Швейцарии коррелирует с повышением уровня детской смертности в два раза [25].

Цель настоящей работы – определение влияния степени засушливости аридных регионов России на гигиеническую безопасность питьевой воды, подготовленной из поверхностных источников. Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- а) определены коэффициенты аридности территорий Саратовского Право- и Левобережья и Республики Башкортостан (РБ);
- б) определены неканцерогенные риски, обусловленные употреблением питьевой воды поверхностных источников, расположенных на данных территориях;

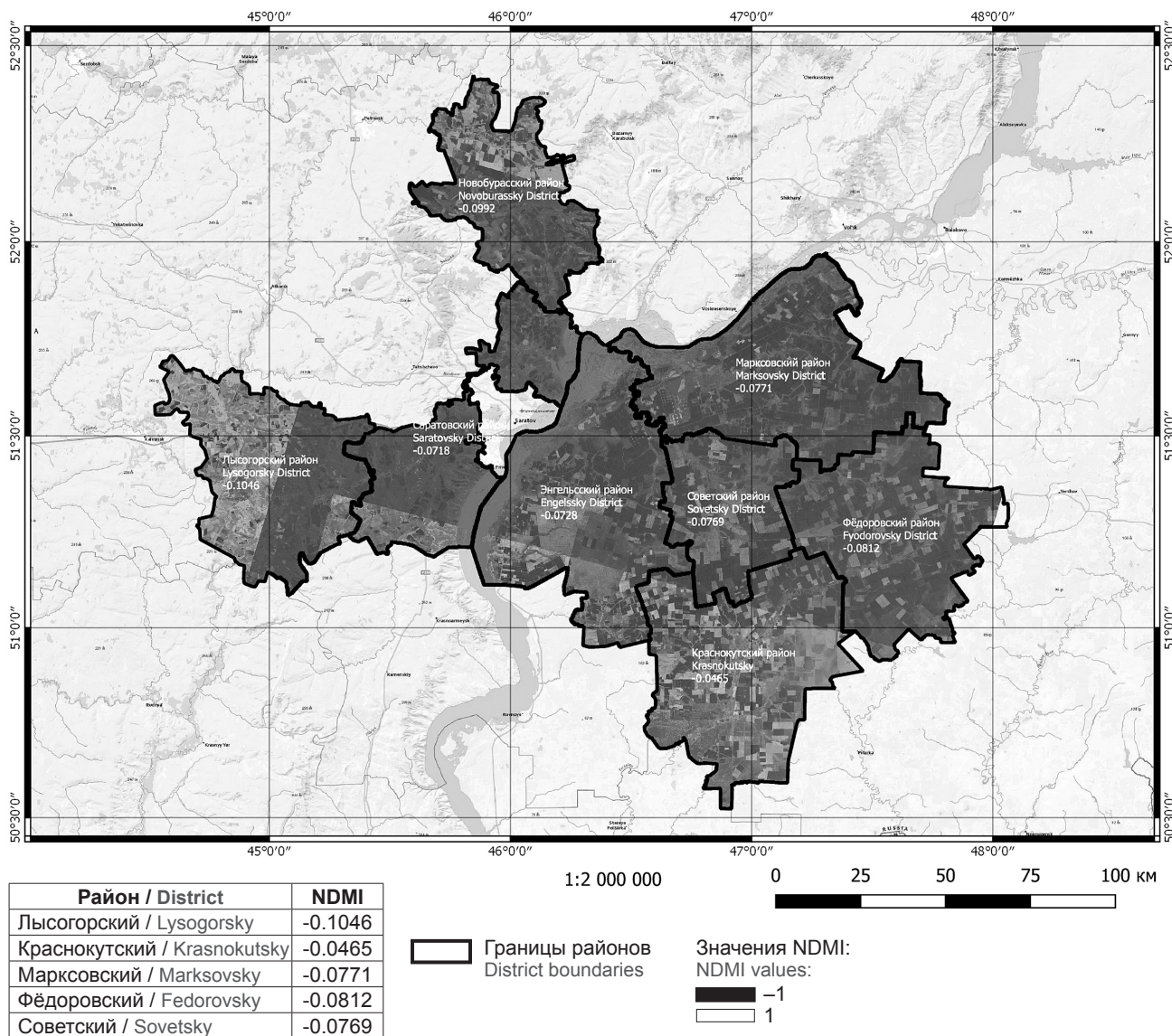


Рис. 1. Карта распределения индекса NDMI по районам Саратовской области.

Fig. 1. Map of the NDMI index distribution by districts of the Saratov oblast.

в) проведён корреляционный анализ взаимосвязи коэффициентов аридности и неканцерогенных рисков, обусловленных питьевым употреблением воды из поверхностных источников.

Материалы и методы

Оценку коэффициента засухливости осуществляли на основе данных дистанционного зондирования Земли. Преимуществами данного подхода перед классическими, основанными на определении гидротермических коэффициентов, измерениях температуры почвы и воздуха, количества осадков, являются его бесплатность и дистанционность. Для выявления засухливости применены аналоговые и цифровые поканальные космические снимки Landsat-8, полученные с помощью геоинформационного каталога earthexplorer.usgs.gov. Пространственное разрешение снимков составило 30 м. Картографирование изучаемых территорий осуществляли с помощью программы QGIS, версия 3.12.3. При интерпретации уровня засухливости территорий применён стандартизованный вегетационный индекс различий увлажнённости (NDMI), который чувствителен к уровню влажно-

сти в растительности и применяется для отслеживания засух. Данный индекс рассчитывается по формуле:

$$NDMI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

где NIR – коэффициент отражения в ближней ИК-области (near infrared, 0,845–0,885 мкм); SWIR – коэффициент отражения в ближней ИК-области (shortwave infrared, 1,560–1,660 мкм). Увеличение засухливости приводит к уменьшению доли NIR-компоненты и увеличению доли SWIR-компоненты в спектре отражения растительности. Это обусловлено различием в характере отражения растительным и почвенным покровами. Снижение величины NDMI соответствует возрастанию степени аридности территории.

В РБ к субаридным зонам, на которых присутствуют поверхностные водоисточники, не удовлетворяющие ряду гигиенических показателей, можно отнести отдельные территории Абзелиловского, Хайбуллинского, Зилаирского и Баймакского районов [26]. К основным водным артериям этих районов относятся водотоки бассейна реки Урал: Большой Кизил (правый приток Урала, длина

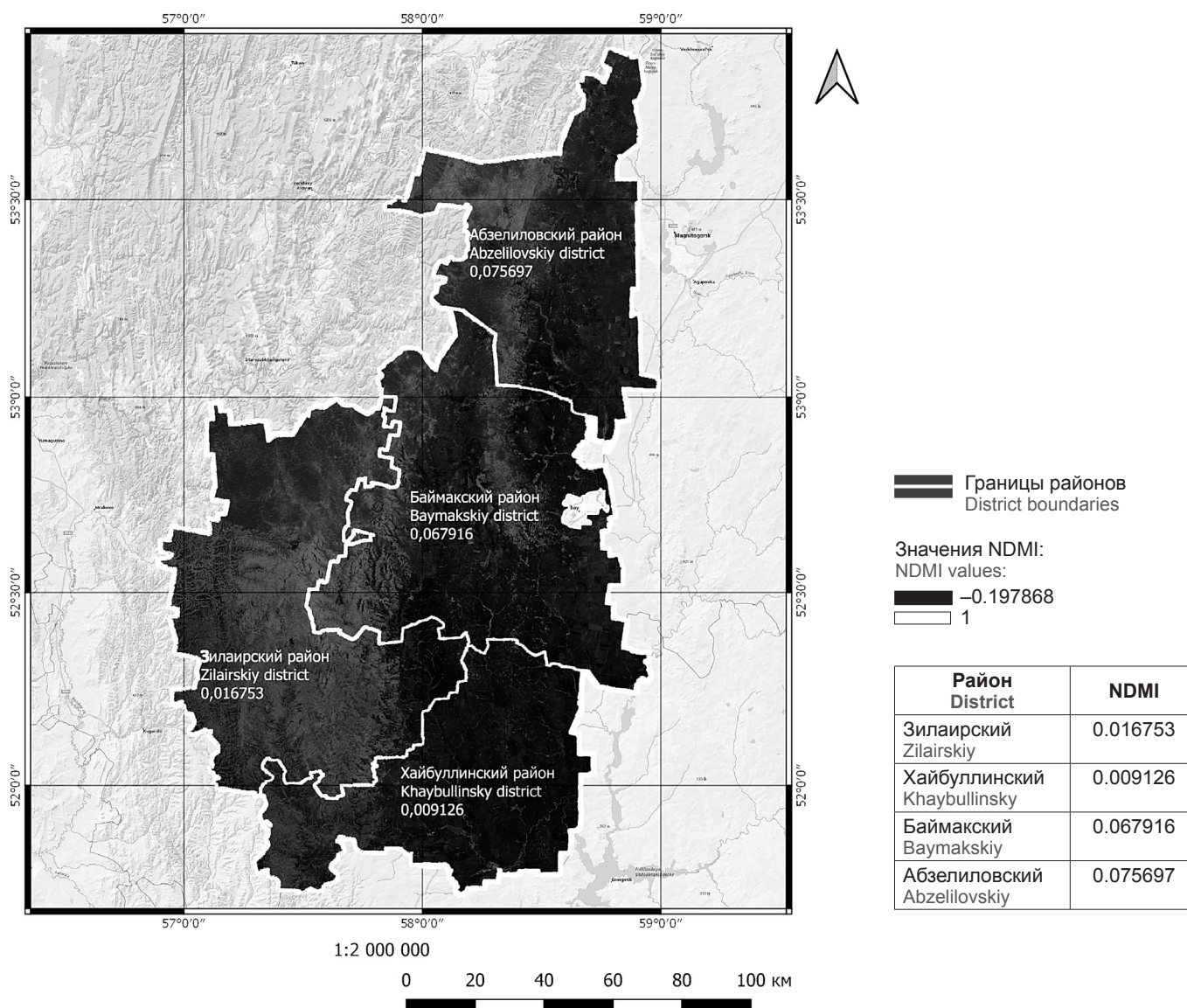


Рис. 2. Карта распределения индекса NDMI по районам Республики Башкортостан.

Fig. 2. Map of the NDMI index distribution by districts of the Republic of Bashkortostan.

реки – 172 км, площадь бассейна – 2080 км², в РБ протекает по территории Абзелиловского района), Сакмара (правый, самый крупный, приток Урала, длина реки 798 км, площадь бассейна 30 200 км², в РБ протекает по территории Хайбуллинского района), Зилаир (правый приток реки Сакмара, длина реки составляет 158 км, площадь водосборного бассейна – 1210 км², в РБ протекает по территории Зилаирского района), Худолаз (правый приток реки Урал, длина – 81 км, площадь бассейна – 1060 км², в РБ протекает по территории Баймакского района). По данным многолетних наблюдений лабораторий ФГБУ «Башкирское УГМС», качество воды рек Большой Кизил (с. Бурангулово Абзелиловского района РБ 53°28'21" с. ш. 58°20'58" в. д.), Сакмара (с. Акьюлово Хайбуллинского района РБ 51°53'11" с. ш. 57°30'18" в. д.) и Зилаир (с. Зилаир Зилаирского района РБ 52°13'56" с. ш. 57°26'25" в. д.) характеризуется неудовлетворительным состоянием. В Саратовской области исследовали воду из малых рек Саратовка, Чардым, Малый Караман, Курдюмка, Нахой, Еруслан, Широкий Карамыш.

Отобранные пробы воды проанализированы на соответствие содержания F⁻, Al³⁺, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₃, Fe_{общ.}, Mn_{общ.} нор-

мативным значениям, установленным в СанПиН 1.2.3685-21. Оценка величины неканцерогенного риска базировалась на пороговом подходе. Суммарный индекс НИ опасности при одновременном поступлении нескольких веществ из воды одним и тем же путём рассчитывали в соответствии с руководством Р 2.1.10.1920–04.

Результаты

На рис. 1 и 2 представлены карты распределения индекса засушливости NDMI по территории Саратовской области и РБ соответственно. Сравнительная характеристика засушливости территорий отражена усиливающейся градиентной окраской карты от наименее к наиболее засушливой (рис. 3). Полученные результаты свидетельствуют о том, что аридность районов Саратовской области увеличивается в следующем порядке: Краснокутский район – Саратовский район – Энгельский район – Советский район – Марковский район – Фёдоровский район – Новобурасский район – Лысогорский район. Аридность изученных районов РБ увеличивается в следующем направлении: Абзелиловский район – Баймакский район – Зилаирский район – Хайбуллинский

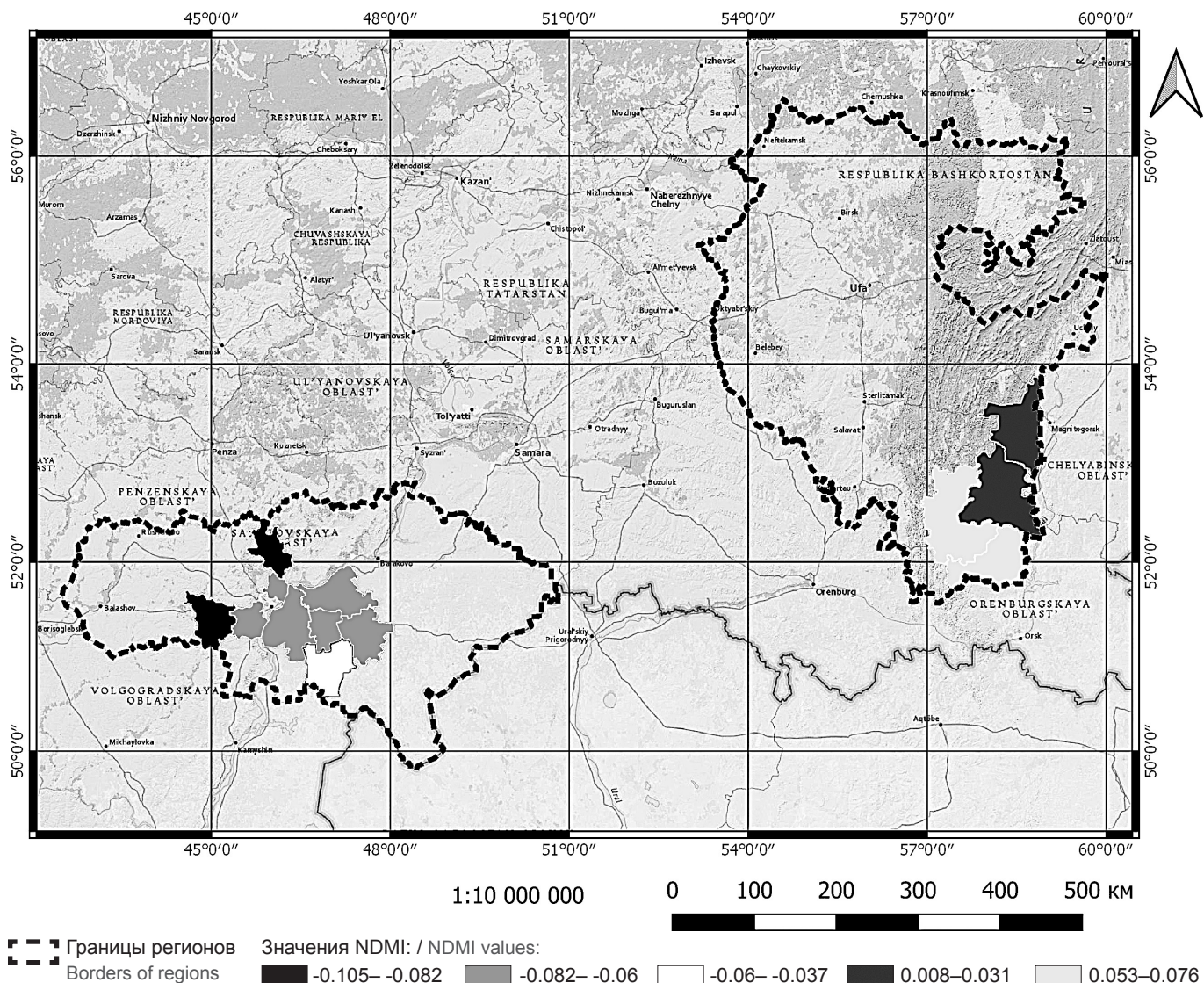


Рис. 3. Сравнительная градиентная карта соотношения засушливости по районам Саратовской области и Республики Башкортостан (градиентный переход RdYIBu).

Fig. 3. Comparative gradient map of the aridity ratio for the regions of the Saratov region and the Republic of Bashkortostan (gradient transition RdYIBu).

район. Малоаридным районам РБ соответствуют низкие положительные значения NDMI, тогда как для районов Саратовской области характерны отрицательные значения NDMI (табл. 1). Как видно из табл. 1, индекс опасности HI, обусловленный присутствием загрязнений воды аридных зон в малых реках рассматриваемых регионов, возрастает со снижением индекса NDMI.

Основной вклад в неканцерогенную опасность воды поверхностных водоисточников РБ обусловлен превышением содержания общего марганца, а также присутствием нитритов. Для рек Худолаз и Зилаир заметное влияние на этот показатель накладывает содержание фтора. Неканцерогенная опасность рек Саратовской области в основном обусловлена: для рр. Еруслан и Саратовка – содержанием железа, марганца, нитритов; для р. Курдюмка – содержанием нитратов, марганца; для р. Малый Караман – содержанием аммиака, нитритов, железа; для р. Чардым – содержанием аммиака, нитратов, железа, марганца, фторидов; для р. Широкий Карамыш – содержанием аммиака, нитритов, железа, марганца, фторидов.

В порядке возрастания величины суммарного неканцерогенного риска Rn поверхностные водоисточники РБ можно расположить в ряд: Сакмара, Большой Кизил, Худолаз, Зилаир. Для поверхностных водоисточников Саратовской области величина Rn увеличивается в следующем порядке: Еруслан (Краснокутский р-н), Курдюмка, Саратовка, Нахой, Малый Караман, Еруслан (Фёдоровский р-н), Чардым, Широкий Карамыш.

С помощью корреляционного анализа изучены зависимости HI и Rn от NDMI. Корреляционные взаимосвязи HI и Rn с NDMI для РБ наилучшим образом аппроксимируются показательной зависимостью. Для исследуемых районов Саратовской области изменением индекса NDMI объясняется 86,7% общей вариальности величины HI, а также 65,2% общей вариальности Rn. Для районов РБ изменением индекса NDMI объясняется 97,9% общей вариальности величины HI, а также 78,3% общей вариальности Rn (табл. 2). Поскольку значения r_{xy} отрицательны, корреляционные связи между данными гигиеническими характеристиками и величиной NDMI высокие и обратные (см. табл. 2).

Таблица 1 / Table 1

Санитарно-химическое состояние, величины неканцерогенного риска и индекса засушливости районов Саратовской области и Республики Башкортостан**Sanitary and chemical state, values of non-carcinogenic risk and the aridity index of the regions of the Saratov region and the Republic of Bashkortostan**

Район District	Водоисточник Water source	Содержание загрязняющих компонентов, С/ПДК Content of polluting components, C/MPC						НИ	Rn	NDMI	
		NH ₃	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	Fe _{общ} Fe _{total}	Mn _{общ} Mn _{total}	Al ³⁺				F ⁻
<i>Республика Башкортостан</i> <i>The Republic of Bashkortostan</i>											
Абзелиловский Abzelilovski	р. Большой Кизил Bolshoy Kizil river	0.105	0.006	0.222	0.900	1.900	0.226	0.240	0.083	0.965	0.0756
Баймакский Baymakskiy	р. Худолаз Hudolaz river	0.115	0.430	0.006	0.633	1.600	0.026	0.780	0.086	0.973	0.0679
Зилаирский Zilairskiy	р. Зилаир Zilair river	0.085	0.667	0.051	0.367	5.100	0.006	0.580	0.490	0.979	0.0168
Хайбуллинский Khaybullinskiy	р. Сакмара Sakmara river	0.400	0.701	0.209	0.460	3.900	0.003	0.43	1.384	0.878	0.0091
<i>Саратовская область</i> <i>The Saratov region</i>											
Краснокутский Krasnokutsky	р. Еруслан Yeruslan river	0.14	0.933	0.013	2.367	1.800	0.073	0.180	0.978	0.793	-0.0465
Саратовский Saratov	р. Курдюмка Kurdyumka river	0.115	0.053	0.887	0.267	2.200	0.227	0.86	0.992	0.818	-0.0718
Энгельский Engels	р. Саратовка Saratovka river	0.030	0.943	0.078	0.633	1.800	0.126	0.240	1.022	0.830	-0.0728
Советский Sovetsky	р. Нахой Nakhoy river	0.360	1.064	0.018	0.333	5.500	0.114	0.080	1.170	0.841	-0.0769
Марковский Marksovsky	р. Малый Караман Malyj Karaman river	0.850	0.935	0.422	0.900	0.090	0.089	0.220	1.301	0.923	-0.0771
Фёдоровский Fedorovsky	р. Еруслан Yeruslan river	1.350	0.297	0.844	2.033	0.680	0.439	0.780	1.408	0.937	-0.0812
Новобурасский Novoburassky	р. Чардым Chardym river	0.600	0.438	1.178	1.400	0.600	0.450	0.980	1.746	0.950	-0.0992
Лысогорский Lysogorsky	р. Широкий Карамыш Shirokiy Karamysh river	1.855	1.900	0.009	1.467	6.700	0.003	0.820	1.936	0.966	-0.1046

Таблица 2 / Table 2

Результаты корреляционного анализа взаимосвязей индекса опасности и неканцерогенного риска с величиной NDMI для Саратовской области и Республики Башкортостан**The results of the correlation analysis of the relationships of the hazard index and non-carcinogenic risk with the NDMI value for the Saratov region and the Republic of Bashkortostan**

x	y	a	b	Тип аппроксимации Type of approximation	r _{xy}	E	η	R ²	F
<i>Саратовская область</i> <i>The Saratov region</i>									
NDMI	НИ	-0.7918	-13.1563	Показательная Exponential	-0,892	-13.156	0.931	0.867	39,143
NDMI	Rn	-1.3886	-19.4276	Показательная Exponential	-0,859	-19.428	0.808	0.652	11,257
<i>Республика Башкортостан</i> <i>The Republic of Bashkortostan</i>									
NDMI	НИ	-0.0591	-10,784	Показательная Exponential	-0.984	-10.784	0.950	0.979	95.112
NDMI	Rn	-0.0181	-0.677	Показательная Exponential	-0.859	-1.215	0.862	0.744	5.814

Обсуждение

В условиях потепления климата с увеличением засушливости региона возрастает интенсивность геологических и биохимических процессов, приводящих к увеличению концентрации загрязняющих веществ в воде водоисточников. Увеличение суммарного индекса опасности, обусловленного употреблением воды в питьевых целях, связано с увеличением засушливости региона и возрастанием процессов эвтрофикации [27]. Нами выявлено, что наибольший вклад в гигиеническую опасность воды вносят нитриты (рр. Нахой, Широкий Карамыш), железо (рр. Чардым, Еруслан, Широкий Карамыш), марганец (рр. Большой Кизил, Худолаз, Зилаир, Самкара, Курдюмка, Еруслан, Саратовка, Нахой, Широкий Карамыш). Значительное поступление марганца в природные воды может быть связано с процессами усиленного разложения остатков биогенного вещества в условиях потепления климата [28]. Основными источниками поступления железа в русловую структуру малых рек являются процессы химического выветривания горных пород, а также питание подземными водами зон континентального засоления, присутствующих на засушливых территориях. Присутствие железа и марганца в воде также обуславливается активизацией железобактериальных процессов гумусового слоя в условиях потепления климата [29]. Значения НQ, определённые по данным санитарно-химического анализа для рассматриваемых загрязнений в воде аридного Саратовского региона, находятся в соответствии с результатами для засушливого региона Хакасии [30].

Неканцерогенная активность воды малых рек, обусловленная биогенным азотом (рр. Нахой, Еруслан, Чардым,

Широкий Карамыш), может быть связана с увеличением подвижности биологически активных веществ, а также с гниением остатков органического вещества в подстилающем водоносном горизонте в условиях потепления климата. Данный факт объясняется влиянием температурного режима на растворимость солей в воде, а также разной степенью аридности водного режима, сравнительно коротким половодьем и сухой меженью в остальное время.

Заключение

С помощью метода дистанционного зондирования Земли впервые показано, что малоаридным районам Республики Башкортостан соответствуют низкие положительные значения индекса засушливости NDMI в отличие от районов Саратовской области, характеризующихся отрицательными значениями NDMI.

Впервые установлена взаимосвязь между увеличением степени засушливости аридных регионов России и повышением неканцерогенного риска здоровью, обусловленного питьевым употреблением воды из поверхностных водоисточников.

Наибольший вклад в формирование неканцерогенной опасности воды малых рек в условиях потепления климата вносят биогенный азот, железо и марганец.

Корреляционная взаимосвязь между характеристиками гигиенической безопасности и величиной NDMI для районов Саратовской области и Республики Башкортостан наилучшим способом характеризуется показательной аппроксимацией.

Литература

(п.п. 4–8, 10, 19–25 см. References)

1. Дунаева Е.А. Методологические и информационные основы оценки водообеспеченности территорий средствами ДЗЗ и ГИС. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2017; 14(3): 173–81. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2017-14-3-173-181>
2. Мандах Н., Цогтбаатар Ж., Даш Д., Хөдөлмөр С. Система индикаторов и оценка опустынивания в Монголии. *Аридные экосистемы*. 2016; 22(1): 99–111.
3. Гармаев Е.Ж., Алымбаева Ж.Б., Цыдыпов Б.З., Жарникова М.А., Саяпина Д.О. Пространственно-временной анализ динамики ландшафтов Селенгинского среднегорья (на примере Убур-дзюкской котловины). *География и природные ресурсы*. 2019; (1): 52–9. [https://doi.org/10.21046/GIPR0206-1619-2019-1\(52-59\)](https://doi.org/10.21046/GIPR0206-1619-2019-1(52-59))
9. Харазми Р., Паниди Е.А., Чабан Л.Н. Оценка динамики аридных экосистем по результатам автоматизированной обработки серий мультиспектральных спутниковых снимков. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2017; 14(3): 196–205. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2017-14-3-196-205>
11. Гармаев Е.Ж., Аюржанаев А.А., Цыдыпов Б.З., Алымбаева Ж.Б., Содномов Б.В., Андреев С.Г. и соавт. Оценка пространственно-временной изменчивости засушливых экосистем республики Бурятия. *Аридные экосистемы*. 2020; 26(2): 34–42.
12. Спивак Л.Ф., Витковская И.С., Батырбаева М.Ж. Возможность использования дистанционно определяемых параметров для априорной оценки условий вегетационного сезона. *Гидрометеорология и экология*. 2017; (1): 15–27.
13. Исаев Э.К., Омурзакова Ш.А. О возможности выявления и моделирования засух в Кыргызстане. *Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета*. 2019; 19(8): 145–51.
14. Титкова Т.Б., Золотокрылин А.Н., Виноградова В.В. Спектральный портрет равнинных ландшафтов России. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2020; 17(3): 117–26. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2020-17-3-117-126>
15. Чинь Л.Х., Заблоцкий Б.Р., Дао К.Х. Изучение многолетней динамики влажности почвы района бак бинь (провинция Бинь Тхуан, Вьетнам) по данным многозональной спутниковой съёмки LANDSAT. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2018; 15(7): 89–101. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2018-15-7-89-101>
16. Уваров И.А., Платонов А.Е., Титков А.В., Толпин В.А., Малеев В.В. Интеграция временных рядов спутниковых и метеорологических данных со статистическими данными в информационных системах мониторинга. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2020; 17(7): 105–16. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2020-17-7-105-114>
17. Прислегина Д.А., Дубянский В.М., Куличенко А.Н. Особо опасные арбовирусные лихорадки на юге России: совершенствование мониторинга с применением современных информационных технологий. *Медицина труда и экология человека*. 2019; (4): 50–8. <https://doi.org/10.24411/2411-3794-2019-10047>
18. Попова А.Ю., Куличенко А.Н., Малецкая О.В., Манин Е.А., Семенов О.В., Дубянский В.М. и соавт. Использование географической информационной системы «ZikaMap» для контроля ситуации по переносчикам опасных арбовирусов в период подготовки и проведения чемпионата мира по футболу FIFA 2018 в г. Сочи. *Здоровье населения и среда обитания*. 2019; (4): 4–7. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2019-313-4-4-7>
26. Бакиров А.Б., Сулейманов Р.А., Валеев Т.К. Опыт оценки риска здоровью населения горнорудных территорий, обусловленного водным фактором. *Медицина труда и экология человека*. 2016; (2): 5–13.
27. Киселев А.В., Мельцер А.В., Ерастова Н.В. Интегральная оценка питьевой воды по показателям химической безвредности на основе методологии оценки риска для здоровья населения. *Профилактическая и клиническая медицина*. 2011; (3): 284–7.
28. Панкратова Ю.А., Иванов Д.Е., Косарев А.В., Савина К.А. Гигиенические аспекты использования ресурсов алых рек для питьевого водоснабжения на примере Саратовского региона. *Санитарный врач*. 2021; (2): 44–55. <https://doi.org/10.33920/med-08-2102-05>
29. Мухортова Л.И., Лукин П.М., Константинова Т.Г. Загрязнение марганцем рек Чувашской республики. *Вода: химия и экология*. 2011; (10): 82–6.
30. Шестеркин В.П. Гидрохимия рек природного заказника «Тумнинский». *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*. 2018; (3): 4–15.
31. Пивоварова Е.А. Оценка неканцерогенных рисков для здоровья населения республики Хакасия, обусловленных химическими веществами питьевой воды. *Санитарный врач*. 2019; (3): 63–7.

References

- Dunaeva E.A. Methodological and informational bases of water availability estimation of a territory by remote sensing and GIS means. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2017; 14(3): 173–81. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2017-14-3-173-181> (in Russian)
- Mandakh N., Tsogbaatar Zh., Dash D., Khudulmur S. The system of indicators and assessment of desertification in Mongolia. *Aridnye ekosistemy*. 2016; 22(1): 99–111. (in Russian)
- Garmaev E.Zh., Alymbaeva Zh.B., Tsydyпов B.Z., Zharnikova M.A., Sayapina D.O. Spatio-temporal analysis of landscape dynamics of the Selenga middle mountain (a case study of the Ubur-Dzokoi hollow). *Geografiya i prirodnye resursy*. 2019; (1): 52–9. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2019-1\(52-59\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2019-1(52-59)) (in Russian)
- Sandeep P., Obi Reddy G.P., Jegankumar R., Arun Kumar K.C. Monitoring of agricultural drought in semi-arid ecosystem of Peninsular India through indices derived from time-series CHIRPS and MODIS datasets. *Ecol. Indic.* 2021; 121: 10733. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107033>
- Zotin A., Zuev D., Kashkin V., Kurako M., Simonov K. Environmental risk zones mapping using satellite monitoring data. *Procedia Comput. Sci.* 2018; 126: 1597–605. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.133>
- Javid K., Akram M.A.N., Mumtaz M. et al. Modeling and mapping of climatic classification of Pakistan by using remote sensing climate compound index (2000 to 2018). *Appl. Water Sci.* 2019; 9(7): 152. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1028-3>
- Kimura R., Moriyama M. Determination by MODIS satellite-based methods of recent global trends in land surface aridity and degradation. *J. Agric. Meteorol.* 2019; 75(3): 153–9. <https://doi.org/10.2480/agrmet.D-19-00003>
- Zhao Y., Wang X., Novillo C.J., Arrogante-Funes P., Vázquez-Jiménez R., Berdugo M., et al. Remotely sensed albedo allows the identification of two ecosystem states along aridity gradients in Africa. *Land Degrad. Dev.* 2019; 30(12): 1502–15. <https://doi.org/10.1002/ldr.3338>
- Kharazmi R., Panidi E.A., Chaban L.N. Assessment of arid ecosystems dynamics based on the results of automated processing of multispectral satellite imagery time series. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2017; 14(3): 196–205. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2017-14-3-196-205> (in Russian)
- Dong J., Crow W.T., Tobin K.J., Cosh M.H., Bosch D.D., Starks P.J., et al. Remote sensing of 10 years changes in the vegetation cover of the northwestern coastal land of Red Sea, Saudi Arabia. *Saudi J. Biol. Sci.* 2020; 27(11): 3169–79. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.07.021>
- Garmaev E.Zh., Ayurzhanava A.A., Tsydyпов B.Z., Alymbaeva Zh.B., Sodnomov B.V., Andreev S.G., et al. Assessment of spatial and temporal variability of arid ecosystems of the Republic of Buryatia. *Aridnye ekosistemy*. 2020; 10(2): 114–22. (in Russian)
- Spivak L.F., Vitkovskaya I.S., Batorybaeva M.Zh. The possibility of using of remote defined parameters for a priori assessment of the vegetation season conditions. *Gidrometeorologiya i ekologiya*. 2017; (1): 15–27. (in Russian)
- Isaev E.K., Omurzakova Sh.A. On the possibility of drought detection and modeling in Kyrgyzstan. *Vestnik Kyrgyzsko-Rossiyskogo Slavyanskogo universiteta*. 2019; 19(8): 145–51. (in Russian)
- Titkova T.B., Zolotokrylin A.N., Vinogradova V.V. The spectral portrait of plain landscapes in Russia. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2020; 17(3): 117–26. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2020-17-3-117-126> (in Russian)
- Chin' L.Kh., Zablotskiy B.R., Dao K.Kh. A study of the long-term dynamics of soil moisture in the Bac Binh district (Binh Thuan province, Vietnam) using LANDSAT multispectral images. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2018; 15(7): 89–101. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2018-15-7-89-101> (in Russian)
- Uvarov I.A., Platonov A.E., Titkov A.V., Tolpin V.A., Maleev V.V. Integration of satellite and meteorological data time series with statistical data in monitoring information systems. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2020; 17(7): 105–16. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2020-17-7-105-114> (in Russian)
- Prislegina D.A., Dubyanskiy V.M., Kulichenko A.N. Particular dangerous arbovirus fevers in the south of Russia: improvement of monitoring with modern information technology application. *Meditsina truda i ekologiya cheloveka*. 2019; (4): 50–8. <https://doi.org/10.24411/2411-3794-2019-10047> (in Russian)
- Popova A.Yu., Kulichenko A.N., Maletskaya O.V., Manin E.A., Semenko O.V., Dubyanskiy V.M., et al. Using geographic information system ZikaMap to control the situation with vectors for dangerous arboviruses during the preparation and hosting the 2018 FIFA World Cup in Sochi. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*. 2019; (4): 4–7. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2019-313-4-4-7> (in Russian)
- Lebedeva M., Gerasimova M., Konyushkova M. Micromorphology of solonchic horizons as related to environmental events in the Caspian Lowland. *J. Mt. Sci.* 2009; 6(2): 132–8. <https://doi.org/10.1007/s11629-009-1029-z>
- Nejatijahromi Z., Nassery H.R., Hosono T., Nakhaei M., Alijani F., Okumura A. Groundwater nitrate contamination in an area using urban wastewaters for agricultural irrigation under arid climate condition, southeast of Tehran, Iran. *Agric. Water Manag.* 2019; 221: 397–414. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.04.015>
- Toolabi A., Bonyadi Z., Paydar M., Najafpoor A.A., Ramavandi B. Spatial distribution, occurrence, and health risk assessment of nitrate, fluoride, and arsenic in Bam groundwater resource, Iran. *Groundw. Sustain. Dev.* 2021; 12: 100543. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100543>
- Saleh H.N., Panahande M., Yousefi M., Asghari F.B., Oliveri Conti G., Talaei E., et al. Carcinogenic and non-carcinogenic risk assessment of heavy metals in groundwater wells in Neyshabur Plain, Iran. *Biol. Trace Elem. Res.* 2019; 190(1): 251–61. <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1516-6>
- Balamurugan P., Kumar P.S., Shankar K., Nagavinothini R., Vijayasurya K. Non-carcinogenic risk assessment of groundwater in southern part of Salem district in Tamilnadu, India. *J. Chil. Chem. Soc.* 2020; 65(1): 4697–707. <https://doi.org/10.4067/S0717-97072020000104697>
- Nawale V.P., Malpe D.B., Marghade D., Yenkie R. Non-carcinogenic health risk assessment with source identification of nitrate and fluoride polluted groundwater of Wardha sub-basin, central India. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2021; 208(15): 111548. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111548>
- Peter G. Impact of rural water projects on hygienic behaviour in Swaziland. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. 2010; 35(13–14): 772–9. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2010.07.024>
- Bakirov A.B., Suleymanov R.A., Valeev T.K. Experience of assessing water-related health risks to the population of the surrounding areas of mining. *Meditsina truda i ekologiya cheloveka*. 2016; (2): 5–13. (in Russian)
- Kiselev A.V., Mel'tser A.V., Erastova N.V. Integral assessment of drinking water on indicators of chemical safety based on risk assessment methodology for public health. *Profilakticheskaya i klinicheskaya meditsina*. 2011; (3): 284–7. (in Russian)
- Pankratova Yu.A., Ivanov D.E., Kosarev A.V., Savina K.A. Hygienic aspects of using the resources of small rivers of the Volga region for drinking water supply on the example of the Saratov region. *Sanitarnyy vrach*. 2021; (2): 44–55. <https://doi.org/10.33920/med-08-2102-05> (in Russian)
- Mukhortova L.I., Lukin P.M., Konstantinova T.G. Manganese pollution of Chuvash Republic rivers. *Voda: khimiya i ekologiya*. 2011; (10): 82–6. (in Russian)
- Shesterkin V.P. Hydro/chemistry of the “Tumnskiy” nature reserve rivers. *Vodnoe khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie*. 2018; (3): 4–15. (in Russian)
- Pivovarova E.A. Assessment of non-carcinogenic risks to public health in the Republic of Khakassia due to the chemicals in drinking water. *Sanitarnyy vrach*. 2019; (3): 63–7. (in Russian)