



УДК 911.9 +574.5
DOI 10.52575/2712-7443-2023-47-4-550-568

Гидроэкологические особенности реки Ворсклы (российский участок) в контексте природно-хозяйственных изменений

Корнилова Е.А., Лисецкий Ф.Н., Родионова М.Е.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
E-mail: kornilova@bsu.edu.ru; fnliset@mail.ru; zamuraeva@bsu.edu.ru

Аннотация. Трансграничная река Ворскла на территории России охватывает только 13,5 % общей площади бассейна, где формируется 8 % годового стока реки в устье. Однако именно эта часть водосбора с гидрографической сетью на территории шести муниципальных образований Белгородской области во многом определяет экологическую обстановку на всем протяжении реки. Целью работы было определение современных тенденций изменения водности реки и гидроэкологической ситуации с учетом антропогенного преобразования территории речного бассейна Ворсклы и изменения региональной климатической системы. Анализ непрерывного временного ряда среднегодовых расходов воды за 93 года позволил определить два периода с различной водностью: 1930–1977 и 1978–2022 гг. Второй период отличается увеличением расходов на 10 % при снижении вариации величин на 5 %. Определены приоритетные загрязняющие вещества, связанные с техногенным влиянием (деятельностью АО «Яковлевский ГОК»), для гидроэкологического мониторинга Ворсклы как рыбохозяйственного водоема (железо общее, фториды, никель, хлориды, бром, бор). Результаты изучения химического состава донных отложений по 26 показателям на всем протяжении реки позволили определить участок русла в пределах Яковлевского городского округа как наиболее трансформированный по аккумуляции загрязнителей по сравнению с региональным геохимическим фоном (исток реки). Показано, что климатически обусловленное увеличение экологического стока за последние четыре десятилетия и вклад притоков в среднем и нижнем течении реки в повышение расходов воды благоприятствуют потенциальным возможностям реки Ворсклы к самоочищению.

Ключевые слова: речной бассейн, расход воды, дренажные воды, донные отложения, загрязнители вод

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания № FZWG-2023-0011.

Для цитирования: Корнилова Е.А., Лисецкий Ф.Н., Родионова М.Е. 2023. Гидроэкологические особенности реки Ворсклы (российский участок) в контексте природно-хозяйственных изменений. Региональные геосистемы, 47(4): 550–568. DOI 10.52575/2712-7443-2023-47-4-550-568

Hydroecological Features of the Vorskla River in the Context of Natural and Economic Changes

Evgeniya A. Kornilova, Fedor N. Lisetskii, Mariya E. Rodionova

Belgorod National Research University,
85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia

E-mail: kornilova@bsu.edu.ru; fnliset@mail.ru; zamuraeva@bsu.edu.ru

Abstract. The transboundary Vorskla River in Russia covers only 13.5 % of the entire basin area, where 8 % of the annual river flow at the mouth is formed. However, it is precisely this part of the catchment area with a hydrographic network on the territory of six municipalities of the Belgorod region that largely

determines the ecological situation along the entire length of the river. The purpose of the work was to determine the current trends in changes in the water content of the Vorskla River and the hydro-ecological situation, taking into account the anthropogenic transformation of the river basin territory and changes in the regional climate system. The analysis of a continuous time series of average annual water flows for 93 years made it possible to identify two periods with different water content: 1930–1977 and 1978–2022. The second period is characterized by an increase in flow rates by 10 % with a decrease in the variation of values by 5 %. Priority pollutants that are associated with technogenic influence (the activities of Yakovlevsky mining and processing plant) have been identified for hydro-ecological monitoring of Vorskla as a fishery reservoir (total iron, fluorides, nickel, chlorides, bromine, boron). The results of studying the chemical composition of bottom sediments on 26 indicators along the entire length of the river made it possible to determine the section of the riverbed within the Yakovlevsky urban district as the most transformed in terms of the accumulation of pollutants in comparison with the regional geochemical background (the source of the river). The climate-related increase in environmental flow over the past four decades and the contribution of tributaries in the middle and lower reaches of the river in increasing water flows may favor the potential of the Vorskla River to self-purification.

Keywords: river basin, water flow, drainage water, bottom sediments, water pollutants

Acknowledgements: The study was carried out with financial support from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of State Assignment No. FZWG-2023-0011.

For citation: Kornilova E.A., Lisetskii F.N., Rodionova M.E. 2023. Hydroecological Features of the Vorskla River in the Context of Natural and Economic Changes. *Regional geosystems*, 47(4): 550–568 (in Russian). DOI 10.52575/2712-7443-2023-47-4-550-568

Введение

В результате современной инвентаризации и электронного картографирования бассейнов малых рек на площади около 17 млн км², отраженных на геопортале «Речные бассейны Европейской части России» [2021], было установлено, что количество бассейновых геосистем составляет 388 627 при их средней площади 47,8 км² [Yermolaev et al., 2021; Ермолаев и др., 2023]. С точки зрения способности рек к самоочищению, то есть снижения в речной воде всей совокупности органических и минеральных веществ в результате физико-химических процессов и функционирования гидробионтов, особенно пристальное внимание уделяется маловодным малым рекам и ручьям, которые более восприимчивы к антропогенным воздействиям и обладают низкой способностью к самоочищению [Samarina et al., 2020]. Токсическое действие различных видов загрязнения (тяжелые металлы, пестициды, поверхностно-активные вещества, биогенные элементы при их сверхнормативной концентрации) приводит к разрыву некоторых звеньев трофической цепи и нарушению обмена веществ, что в конечном счете определяет угнетение процесса самоочищения водной среды [Lisetskii, 2022; Lisetskii, Buryak, 2023]. Как показали экологические исследования рек в железорудных районах, проведенные отечественными и зарубежными учеными [Чепелев и др., 2014; Rodrigues et al., 2014; Dos Reis et al., 2019; Samarina et al., 2020], при неизбежном загрязнении вод тяжелыми металлами наблюдается целый ряд гидрохимических взаимодействий, которые нарушают природные биохимические и физико-химические процессы. Установлено, что для рек, в бассейне которых ведется добыча железных руд Курской магнитной аномалии, характерна в наше время нестабильная динамика изменения среднегодовых расходов воды с четко выраженным отрицательным трендом [Чепелев и др., 2014].

Возможности решения взаимосвязанных проблем рационального земле- и водопользования во многом определяются природно-хозяйственной ситуацией на всей водосборной площади конкретного речного бассейна, что определяет перспективность использования речного бассейна в качестве операционной единицы геопланирования сельских территорий в рамках бассейновой концепции природопользования [Лисецкий и др.,



2015]. При изучении ландшафтной организации территории речных бассейнов перспективен комплексный полиструктурный подход, который учитывает пространственную организацию структурных подсистем бассейна [Позаченюк, Власова, 2022]. В особенности это касается склоновой подсистемы, для которой оптимальна позиционно-динамическая структуризация ландшафта, и разнопорядковая бассейновая организация территории, что определяет возможность интегрировать общность пространственных отношений, обусловленных гидрофункционированием. В качестве примера реализации бассейнового подхода на региональном уровне может быть названа Концепция и программа комплексного использования природных ресурсов «ЭКО-ВОРСКЛА-2005» [1997]. Согласно этому экологическому проекту предполагалось за 8 лет разработать схему комплексного использования и охраны водных ресурсов, предусматривающую систему организационных, технических и экономических мер, направленных на предотвращение загрязнения и истощения вод [Лисецкий и др., 1999]. С геоэкологической точки зрения для предотвращения и устранения негативных явлений на водосборной площади бассейновый подход может обеспечить полный охват всех вероятных причин экологических нарушений, а также межотраслевых и территориальных противоречий [Трифоновна, 2005; Лисецкий, Панин, 2013; Yudina et al., 2017; Полулях и др., 2022]. Геопланировочный подход позволяет решить геоэкологические задачи при разработке комплекса проектных решений, как это показано для природно-хозяйственных условий бассейна реки Ворсклы в границах Прохоровского района Белгородской области [Zheltukhina et al., 2023].

Цель работы состояла в установлении современных тенденций изменения водности реки Ворсклы на территории России (Белгородской области) и гидроэкологической ситуации.

Объекты и методы исследования

Длина Ворсклы до места впадения в р. Днепр 464 км, в пределах России – 118 км. Площадь бассейна составляет 14700 км², из которых на территорию России приходится 1980 км². Ворскла и ее основные притоки протекают по территории шести муниципальных образований Белгородской области. На российскую часть водосбора Ворсклы приходится лишь 13,5 % общей площади и 8 % годового стока реки в устье, но именно эта часть водосбора во многом определяет экологическую обстановку на всем протяжении реки. Прежде всего это связано с разработкой одного из богатейших в мире железорудных месторождений Яковлевского рудника. Запасы месторождения оцениваются в 9,6 млрд т руды, содержащей в среднем 61 % железа.

Информационной основой по гидрологическому режиму реки Ворсклы стали опубликованные данные справочника [Ресурсы поверхностных вод, 1967] и более новые материалы, полученные от ФГБУ «Центрально-Черноземное УГМС» (Росгидромет). Непрерывность временного ряда расходов воды (из-за отсутствия наблюдений за 1942 и 1943 гг.) была обеспечена расчетными величинами, полученными по уравнению регрессии расходов воды с годовой суммой осадков по данным за 1944–2003 гг. (суммы атмосферных осадков военных лет были восстановлены по данным тыловых метеостанций за эти годы). Таким образом, обобщенный временной ряд величин среднегодовых расходов воды в р. Ворскле для поста Козинка включал 93 года (1930–2022 гг.). С целью выявления периодов с повышенной и пониженной водностью был использован метод построения разностной интегральной кривой среднегодовых расходов, которая предполагает получение для ординаты нарастающей суммы отклонений годовых модульных коэффициентов от среднего многолетнего значения. Проанализированный ряд гидрохимических наблюдений на гидропосту Росгидромета (с. Козинка) за 2008–2021 гг. включал стандартный набор показателей: хлориды, сульфаты, ХПК, БПК₅, соли аммония, нитраты, железо, медь, цинк, марганец, нефтепродукты, взвешенные вещества. Авторы статьи использовали также собственные данные, которые были получены в 1998 году (на начальный период работы

Яковлевского ГОКа) по четырем створам (от истока в Ивнянском районе до с. Козинка), а также новые данные, полученные в 2019–2021 гг. по экспериментальному створу ниже Крапивненского водохранилища на р. Ворскле. Кроме того, были привлечены результаты международной экологической экспедиции 2001 года по обследованию состояния трансграничных участков бассейна Днепра, включая створ на р. Ворскле (с. Козинка), где отборы проб воды и донных отложений проводили на пограничном участке с расстояниями от ее устья 344–340 км [Васенко и др., 2003]. Эти данные авторы указанной работы считают «базовой линией» для оценки изменения экологической ситуации по гидрохимическим, гидробиологическим и радиационным показателям. Химический состав донных отложений из русла Ворсклы анализировали по отобраным специалистами Центра прикладных исследований и геотехнологий (НИУ «БелГУ») пробам (по 9 створам от истока до Грайворона) в 2022–2023 гг. в рамках выполнения региональной программы «Наши реки» [Китов, Нарожня, 2023]. Перечень тяжелых металлов в донных отложениях определяли с помощью метода рентгеноспектрального флуоресцентного анализа, остальные показатели по гостированным методикам (всего использовано 26 показателей). В качестве регионального геохимического фона (РГФ) использовали пробу донных отложений в зоне истока (36,450293 N; 50,900528 E).

Результаты и их обсуждение

Гидрографическая сеть в бассейне Ворсклы.

Истоки реки Ворсклы расположены в Ивнянском районе Белгородской области, выше с. Рождественка. Непосредственно русло формируется у с. Покровка от слияния двух ручьев, вытекающих из двух прудов у с. Рождественка, и пруда, который расположен выше с. Покровка (рис. 1А). Таким образом, истоком реки можно считать место слияния у с. Покровка ($50^{\circ}54'31''$ с. ш. $36^{\circ}26'55''$ в. д.), которое находится на высоте 195 м. Разница абсолютных высот между истоком реки и местоположением с. Козинка составляет 75 м, что определяет средний уклон реки 0,7 %.



Рис. 1. Зона истока р. Ворсклы у с. Покровка Ивнянского р-на (А); граф гидрографической сети в границах Борисовского р-на (Б); вид на долину реки с детинца Хотмыжского городища (В)

Fig. 1. Source area of the Vorskla River near the village Pokrovka Ivnyansky district (A); graph of the hydrographic network within the boundaries of the Borisovskiy district (B); view of the river valley from the citadel of the Khotmyzh settlement (B)



Выполненное сравнение гидрографической сети Ворсклы по топографическим картам масштаба 1:50000 разных лет показало, что количество постоянных притоков низкого порядка сократилось за последние полвека в среднем на 40 %, а их общая длина – на 30 % [Дегтярь, 2005]. Густота современной речной сети реки составляет в среднем 0,24 км/км², но значительно меняется от верховья и ниже по течению. В границах Яковлевского округа длина Ворсклы 41 км. В этой части бассейна речная сеть за 230 лет сократилась на 25 км (12 %) и составляет в настоящее время 175 км. Наиболее значительным притоком по правому берегу является р. Ворсколец (длиной 16 км с площадью водосбора 112 км²). А уже в пределах Борисовского района по левому берегу водосбора Ворсклы насчитывается 5 водотоков, которые имеют общую длину 82 км с площадью водосбора 299 км², тогда как по правому берегу находится лишь один приток (Готня) длиной 23 км и площадью водосбора 292 км² (рис. 1Б). В границах Грайворонского района наиболее значительны три левых притока, имеющие общую длину 72 км с площадью водосбора 390 км².

Данные по длине реки в пределах Белгородской области различаются в отдельных источниках (от 114 до 118 км). Так, авторы [Лебедева и др., 2013] со ссылкой на справочник [Ресурсы поверхностных вод, 1964] указывают, что в границах области площадь бассейна составляет 2001 км², а длина реки – 114 км. Очевидно, что данные, относительно протяженности реки, ограничиваются территорией до гидрологического поста Козинка. От поста до государственной границы путем картографических измерений нами установлена дополнительная длина отрезка Ворсклы по руслу, которая составила 3,31 км (ранее принималась длина 4 км). Таким образом, принимая во внимание, что водомерный пост в с. Козинка находится в 348 км от устья, а общая длина Ворсклы по общепринятым данным составляет 464 км, на российский участок приходится 119,3 км. Степень учета меандрированности русла, динамичного во времени, накладывается на точность определения его длины. Так, измерение по карте с использованием современных векторных данных OpenStreetMap (выполнено А.О. Полетаевым) показало, что общая длина Ворсклы от истока до гидропоста Козинка составляет 122,5 км.

Природные предпосылки формирования речного стока и его гидрохимии

Асимметрия речной долины Ворсклы, выраженная в возвышенном правом берегу и более низкими высотами на левом берегу, обусловлена тектоникой. Особенно ярко это проявляется в районе Хотмыжской возвышенности, где абсолютные отметки на водоразделах варьируют от 190–200 м до 223 м, а на пойменных участках снижаются до 134–145 м. Купольная структура Хотмыжского изометричного блока, связанного с внедрением крупной интрузии на глубине 1–3 км, ограничена с юга предполагаемым крупным тектоническим нарушением, трассирующимся вдоль русла Ворсклы, а с запада, востока и севера – разрывами более низкого порядка, которые, вероятно, определили русла основных притоков (рис. 1В). При этом, как это было установлено при изучении подземных вод [Бударина и др., 2022], к осевым зонам в разломах кристаллического фундамента приурочены эколого-гидрогеохимические аномалии. В пределах водосборной площади Ворсклы водопроницаемость покровных отложений относительно хорошая и поэтому в средний по водности год инфильтрация атмосферных осадков составляет 70–80 мм, или около 8 % от суммы годовых атмосферных осадков. Подземный сток в средний по водности год составляет 0,39 м³/с. Основной вклад в пополнение запасов подземных вод вносит инфильтрация паводковых вод в эрозионных формах рельефа в период весеннего снеготаяния [Борисовский район..., 2002]. Хотя в структуре водного баланса Ворсклы доля подземного стока составляет в среднем 15–20 %, это важная составляющая экологического стока, поддерживающая способность реки к самоочищению в межень. В этой связи немаловажно обращение к выходам подземных вод (родникам) и их состоянию. Специфика водоносных пород в Ворсклинском речном бассейне определила большую диспропорцию распределения

родников, которые вытекают из четвертичных суглинков и из мелов – 70 % и 2 % соответственно, причем в верховьях бассейна 90 % родников малобитные (до 1 л/с), а высокодебитных (более 10 л/с) нет вовсе [Орехова, Новых, 2017].

Структура основных угодий на водосборе р. Ворсклы

При внедрении бассейновой концепции природопользования в Белгородской области [Лисецкий, Панин, 2013] был использован бассейново-административный подход, который способствует более высокой эффективности взаимодействия между субъектами природопользования на муниципальном уровне (от согласования проектных решений от истока к устью реки до координации финансово-организационных и управленческих решений по внедрению почвоводоохранных мероприятий).

По антропогенной преобразованности бассейна отдельные секторы имеют значительные отличия (табл. 1). Наибольшая распаханность земель отмечается в границах Прохоровского и Белгородского р-нов. Доля площади бассейна под застройкой значительна в Грайворонском р-не, но особенно велика в Яковлевском городском округе. Лесистость в пределах отдельных секторов бассейна меняется от малой облесенности в Белгородском и Прохоровском р-нах до среднеобластной оценки в верховье и повышенной (более 10 %) в нижней части бассейна.

Таблица 1
Table 1

Соотношение площадей основных угодий на территории бассейна р. Ворсклы
в границах муниципальных образований Белгородской области
The ratio of the areas of the main lands in the Vorskla basin within the boundaries
of municipalities of the Belgorod region

Структура угодий	Районы*						Среднее
	1	2	3	4	5	6	
Площадь бассейна, км ² , в т. ч. (%):	46,90	3,41	482,91	67,735	452,3	430,46	–
пашня	61,4	76,5	58,1	76,9	62,5	56,3	65,3
ЕКУ	14,9	8,1	14,1	10,5	14,3	13,1	12,5
лесные земли	9,5	5,5	10,3	5,0	10,8	14,7	9,3
застройка	8,4	2,2	15,8	5,0	8,3	10,0	8,3

*Цифрами обозначены следующие муниципальные образования: 1 – Ивнянский р-н, 2 – Прохоровский р-н, 3 – Яковлевский городской округ, 4 – Белгородский р-н, 5 – Борисовский р-н, 6 – Грайворонский городской округ.

Периодичность изменения водности реки Ворсклы в связи с изменениями климата и ситуации на водосборе.

При разработке статистических моделей модуля водного стока рек для ландшафтных зон ЕТР и, в частности, лесостепи и степи, объясняющими параметрами из климатического блока переменных оказались: годовое количество осадков (мм) и сумма активных температур атмосферного воздуха (°С) [Веденева, 2018]. Анализ временных рядов по данным гидрологических наблюдений на реках, которые испытывают влияние железорудной промышленности [Чепелев и др. 2014], показал, что даже в условиях высокой зарегулированности стока его динамика оценочно на 50 % подчиняется природным закономерностям. Анализ динамики расхода речного стока для малой реки (Болховец) показал, что природное колебание этого показателя можно соотнести с периодом 1947–1980 гг., а стабильное снижение расходов было в 1981–2010 гг., причем климатическая обусловленность формирования речного стока за последние тридцать лет усилилась [Кузьменко и др., 2012]. Однако очевидно, что вклад антропогенного фактора при оценке качества водных масс к настоящему времени возрастает для многих рек региона. Применительно к бассейну Ворсклы установлена тенденция снижения



количества атмосферных осадков за 100 лет на 80 мм, а объемы испарения с поверхности водоемов за теплый период года в 2010 году превышали величину, зафиксированную в 1960 году, в 1,98 раз [Решетникова и др., 2010].

Основной пункт гидрологических наблюдений на реке – это гидрологический пост I разряда Козинка – р. Ворскла, 80442 (координаты 50°28'25" с.ш., 35°35'37" в.д.); отметка нуля водомерного поста (в Балтийской системе высот): 119,29 м площадь водосбора до поста составляет 1807 км² [Ресурсы поверхностных вод, 1971, с. 587]. Анализ временного ряда среднегодовых расходов воды (Q) р. Ворскла (пост Козинка) за период 1930–2013 гг. позволил получить уравнение линейной регрессии со слабым трендом увеличения водности ($Q = 0,0105t - 14,95$), при этом отмечено, что наиболее длительный период повышенной водности наблюдался с 1977 по 1990 г. [Петина и др., 2014]. Ранее было отмечено, что за период 1944–2011 гг. среднегодовые расходы воды (Q) р. Ворсклы (пост Козинка) (рис. 2) составляли 5,81 м³/с [Лисецкий и др., 2015, с. 106], тогда как временной ряд с привлеченными нами данными за более поздний период (1996–2022 гг.) показывает противоположный тренд, что отражается в величине среднего расхода воды – 4,96 м³/с (рис. 3).

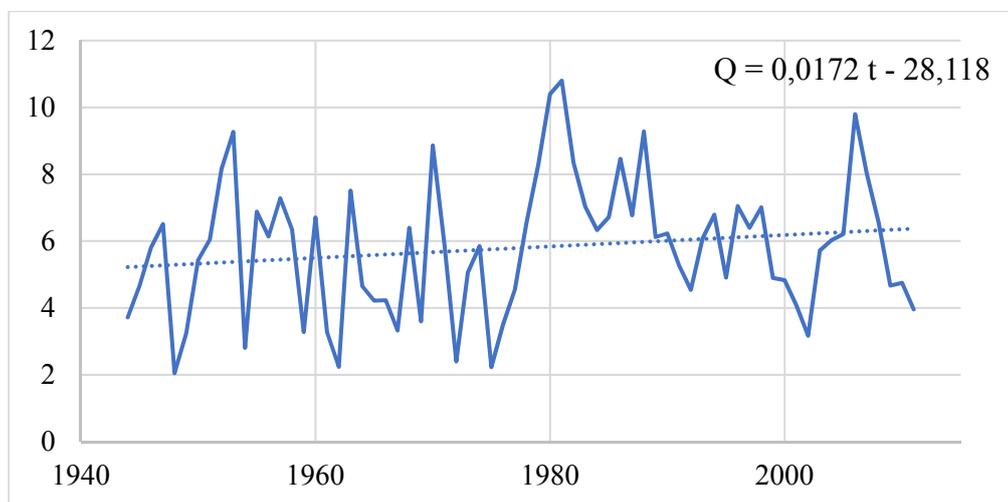


Рис. 2. Среднегодовые расходы воды (Q, м³/с) р. Ворсклы (пост Козинка) за 1944–2011 гг. [Лисецкий и др., 2015, с. 106, рис. 3.2]

Fig. 2. Average annual water flow (Q, m³/s) Vorskla River (Kozinka post) for 1944–2011. [Lisetskii et al., 2015, p. 106, fig. 3.2]

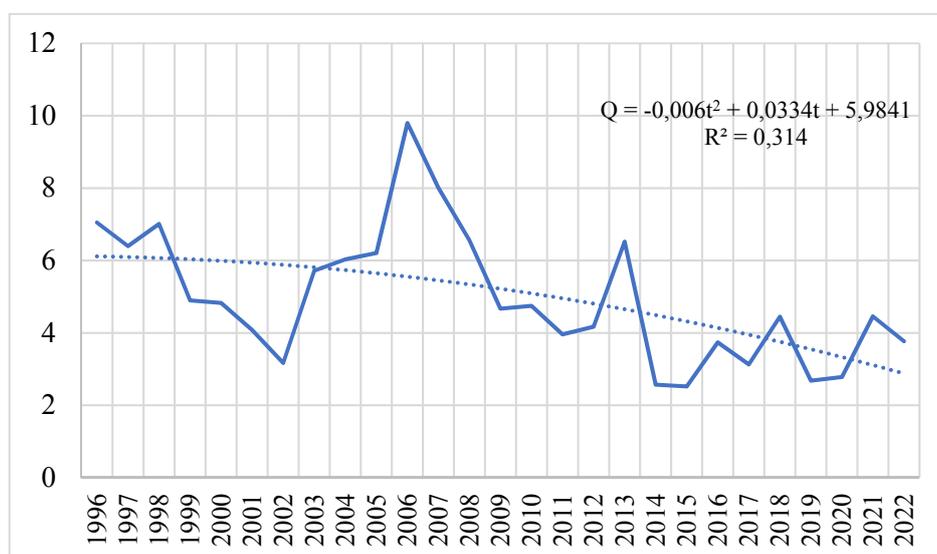


Рис. 3. Среднегодовые расходы воды (Q, м³/с) р. Ворсклы (пост Козинка) за 1996–2022 гг.

Fig. 3. Average annual water flow (Q, m³/second) river Vorskla (Kozinka post) for 1996–2022.

Наиболее достоверно и полно динамика водности может быть проанализирована, если использовать весь доступный временной ряд наблюдаемых значений расходов воды. Построение разностной интегральной кривой среднегодовых расходов за период 1930–2022 гг. (рис. 4) позволило обосновать два периода водности: 1930–1977 и 1978–2022 гг. (рис. 5 и 6).

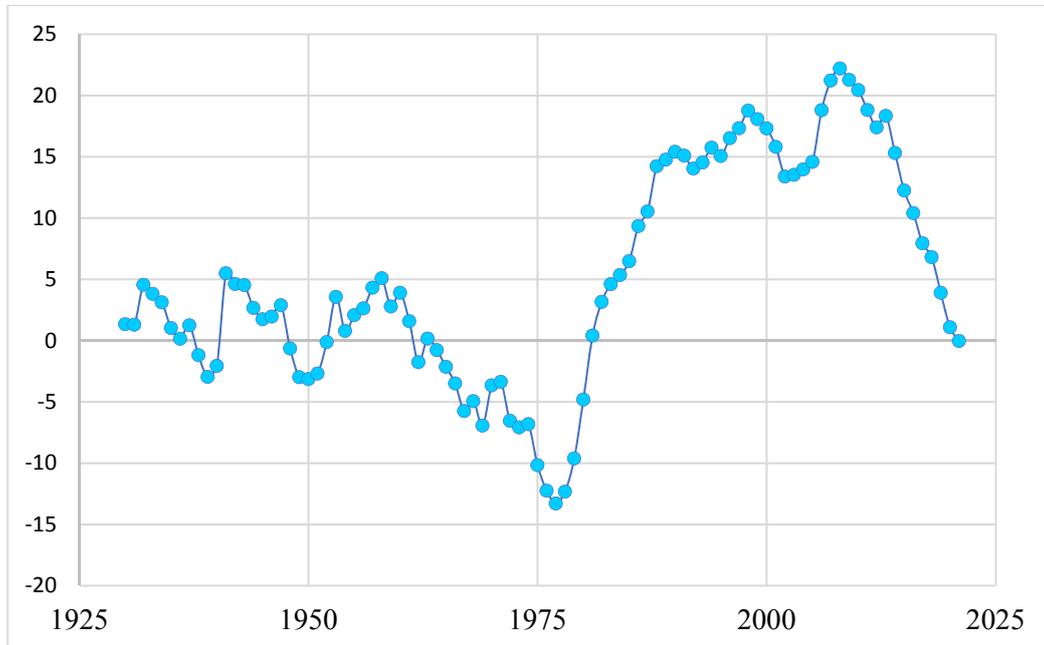


Рис. 4. Разностная интегральная кривая среднегодовых расходов (Q , $\text{m}^3/\text{с}$) р. Ворсклы (пост Козинка) за период 1930–2022 гг.
Fig. 4. Difference integral curve of average annual flow rates (Q , m^3/s) Vorskla River (Kozinka post) for the period 1930–2022

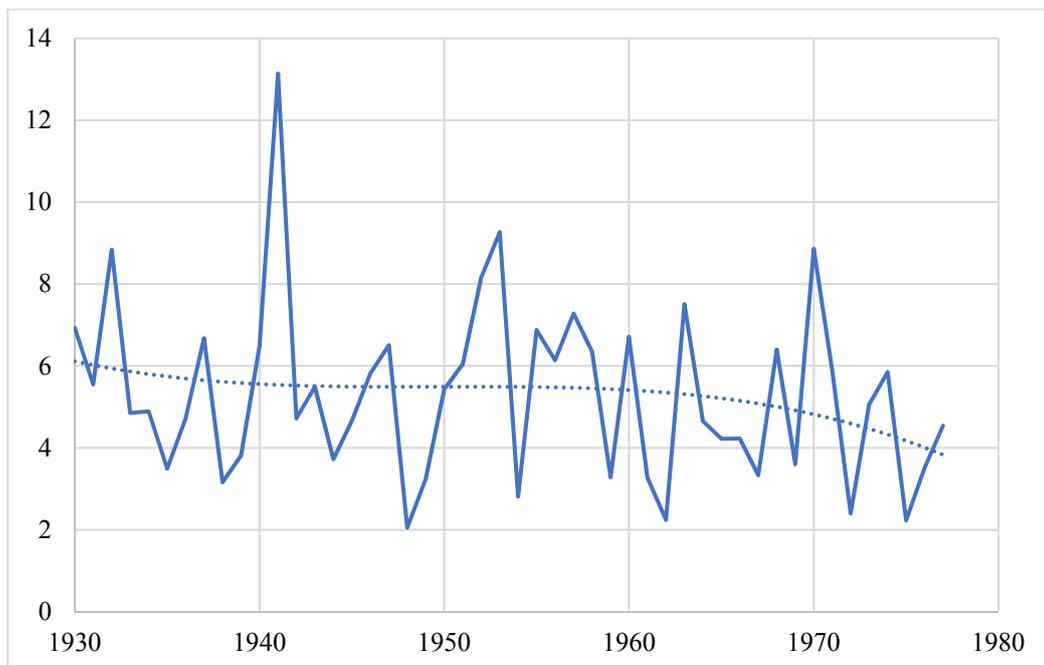


Рис. 5. Динамика среднегодовых расходов воды (Q , $\text{m}^3/\text{с}$) р. Ворсклы (пост Козинка) за 1930–1977 гг.
Fig. 5. Dynamics of average annual water flow (Q , m^3/s) Vorskla River (Kozinka post) for 1930–1977

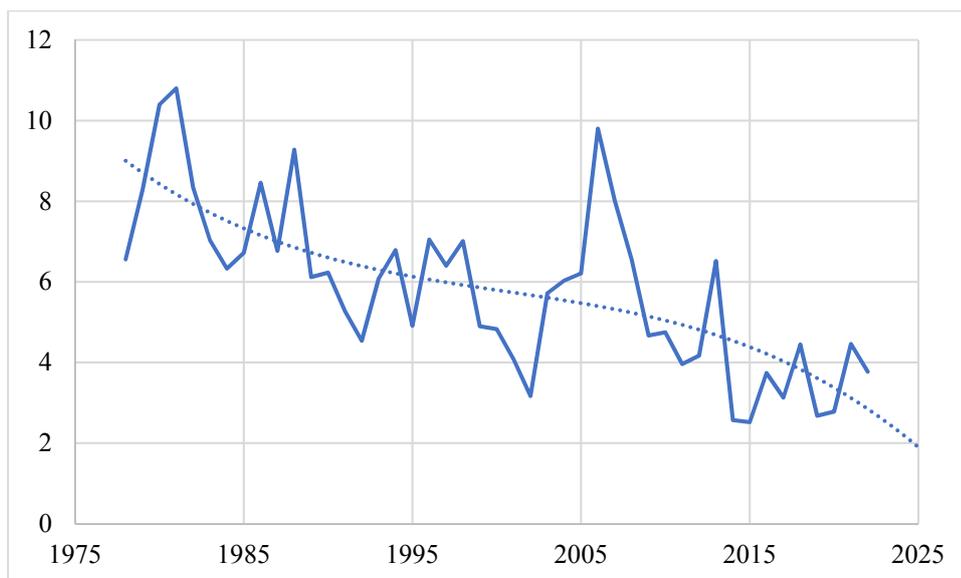


Рис. 6. Динамика среднегодовых расходов воды (Q , м³/с) р. Ворсклы (пост Козинка) за 1978–2022 гг. (прогноз до 2025 года)

Fig. 6. Dynamics of average annual water flow (Q , м³/s) Vorskla River (Kozinka post) for 1978–2022 (forecast until 2025)

Тренды изменения среднегодовых расходов воды показаны полиномами 3-й степени. В частности, выполнен прогноз тренда изменения расходов воды до 2025 года (см. рис. 6).

За период 1978–2022 гг. среднегодовая величина расходов воды увеличилась по сравнению с предшествующим периодом на 10 % (на 0,53 куб. м/с) (табл. 2). При этом в обоих периодах сохранился на 95 % уровне вероятности тот же размах величин между экстремумами, но в 1978–2022 гг. значения минимумов и максимумов стали больше. Для всего временного ряда вариация величин среднегодовых расходов значительная, но снизилась во втором периоде на 5 %.

Таблица 2
Table 2

Основные периоды изменения среднегодовых величин расходов воды в р. Ворскле по данным поста Козинка за 1930–2022 гг.
 The main periods of change in average annual values of water flow in the Vorskla River according to the Kozinka post for 1930–2022

Периоды	1930–1977 гг.	1978–2022 гг.
Количество лет	48	45
Средняя величина, м ³ /с	5,31	5,84
Диапазон ($X \pm t_{05} S_x$)	4,68÷5,94	5,22÷6,47
Стандартное отклонение	2,16	2,08
Коэффициент вариации, %	40,72	35,66

Современные климатические изменения определили в региональной гидрологической системе перераспределение речного стока по сезонам. В частности, менялся во времени вклад весеннего половодья в водном балансе. Так, обработка временного ряда за 1930–1967 гг. по данным гидропоста Козинка показала, что средняя величина стока половодья в % от годового составляла $X \pm t_{05} S_x = 68,00 \pm 5,97$ %. Это приближалось к параметрам вклада стока весеннего половодья в многоводные годы – 70–80 % годового стока [Лисецкий и др., 2015]. Ретроспективный анализ временных рядов

по данным гидропоста с. Козинка показывает, что за период половодья (10.02–19.03) погодичное варьирование гидрологических характеристик было очень значительным: размах величин среднесуточного расхода находился в пределах 11–492 м³/с; суммарный слой стока – от 12 до 128 мм. При этом объем стока за половодье составлял 16,4 млн м³, подъем уровней за половодье достигал 156 см, а уровень выхода воды на пойму доходил до 440 см. Однако в последние десятилетия при направленном изменении климата, как показали исследования формирования поверхностного стока для условий лесостепи [Петелько, Панов, 2019], при слабом промерзании почвы, независимо от снегозапасов и влажности почвы, не наблюдался сток талых вод. Этим условиям для р. Ворсклы может соответствовать ситуация маловодных лет, когда доля стока весеннего половодья сокращалась до 50–60 %. В то же время анализ метеорологических данных за столетний период, включая ряды по мтс. Курск [Демидов, Окулик, 2007], показал, что при снижении стока талых вод и уменьшении величин смыва почвы при снеготаянии, в теплый период года наблюдается возрастание слоя осадков и рост числа дней со стокоформирующими осадками.

Изменения гидрохимических и гидроэкологических показателей воды в р. Ворскле.

Оценка суммарного выноса материала с поверхности речного бассейна обычно включает три основных источника: взвешенные и влекомые наносы и растворенные вещества [Мозжерин и др., 2012]. Однако при наличии техногенного источника, как в случае с верховьем Ворсклы, эта составляющая может приносить существенный вклад в формирование специфических особенностей гидрохимии речных вод. Яковлевский рудник расположен на территории Яковлевского городского округа Белгородской области. Мощная осадочная толща (490–550 м), перекрывающая область оруденения, характеризуется сложными гидрогеологическими условиями, в частности наличием семи водоносных горизонтов. При осушении месторождения необходимо обеспечить откачку дренажных и шахтных вод. Являясь одним из крупных предприятий региона КМА, АО «Яковлевский ГОК» непосредственно влияет на экологическое состояние р. Ворсклы, так как откачиваемые шахтные воды здесь сбрасываются в нее через пруд-отстойник. Однако содержание загрязняющих веществ в реке и в дренажных водах обуславливается не только горнодобывающей деятельностью, но связано и с высоким природным содержанием меди, цинка и железа в почвах Белгородской области, с присутствием многих источников антропогенного поступления таких компонентов, как вышеуказанные, а также свинца в водные объекты.

Так как в марте 1997 года на Яковлевском руднике была поднята на-гора первая руда, а добыча железной руды началась в 2005 году, то этот диапазон можно принять за базовый период гидроэкологического мониторинга. Исследования качества воды, проведенные в НИУ БелГУ в 1998 году для правого и левого истоков Ворсклы и в месте их слияния (табл. 3), показали, что речная вода прозрачная, бесцветная, с рН от 7,0 до 7,8, карбонатной жесткостью 5,77–6,23 ммоль-экв/л, содержанием фтора от 0,65 до 0,82 мг/л при отсутствии железа. Установлено, что практически по всему комплексу показателей, нормируемых для вод хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, включая степень минерализации и содержание микрокомпонентов, вода в истоке Ворсклы соответствует требованиям ГОСТ 2874-73. Но в пробах, взятых в это же время от места сброса дренажных вод АО «Яковлевский рудник» ниже по течению (в 1000 м), отмечалось повышенное содержание фтора (в виде фторид-иона) в пределах 0,18–0,26 мг/л, трехвалентного железа (0,29–0,36 мг/мл) и фосфора (до 5,5 мг/мл). Полученные данные хорошо коррелируют с результатами анализа проб воды из пруда-накопителя дренажных вод Яковлевского рудника, где концентрация фтора и трехвалентного железа достигает порядка 2,5 и 0,45 мг/л соответственно. Таким образом, первоначально было определено, что при оценке влияния сброса



дренажных и рудничных вод на качество воды р. Ворсклы необходимо особое внимание уделить мониторингу стабильных загрязняющих компонентов, таких как фтор, бор, бром, марганец и фосфор.

Таблица 3
Table 3

Гидрохимические показатели воды в р. Ворскле по отдельным створам на начальный период работы Яковлевского ГОКа
Hydrochemical parameters of water in the river. Vorskla at individual sites for the initial period of operation of the Yakovlevsky GOK

Показатели	1998 г.	1998 г.	1998 г.	1998 г.	2001 г.**
Створы*	1	2	3	4	4
pH	0,85	0,93	0,88	0,85	–
Взвешенные вещества, (мг/дм ³)	3,84	1,07	0,89	0,24	–
Нитраты (мг/дм ³);	0,07	0,06	0,12	0,02	0,34
Фенолы (мг/дм ³)	4,1	16,3	11,8	0	–
Zn (мг/дм ³)	7,4	13,2	17,2	350	–
Pb (мг/дм ³)	4,22	1,12	27,0	–	–
Cu (мг/дм ³)	22,3	46,6	48,0	0	–
Mn (мг/дм ³)	131,8	9,76	17,86	–	–
Ca (мг/дм ³)	–	–	–	124,10	–
Fe (мг/дм ³)	–	–	–	0,165	–
Mg (мг/дм ³)	–	–	–	20,05	–
БПК ₅ (мг О/дм ³)	10,16	8,95	15,78	2,72	2,0
ХПК (мг О/дм ³)	23,62	20,8	36,7	–	28
Кратность превышения рыбохозяйственных ПДК (среднегодовая) по загрязнителям:					
➤ азоту аммонийному, (мг/дм ³);	0,98	0,45	0,73	1,04	1,5
➤ нитритам (мг/дм ³);	0,42	0,30	0,46	0,42	2,1
➤ фосфатам (мг/дм ³);	0,18	0,04	0,07	0,41	–
➤ хлоридам (мг/дм ³);	0,02	0,7	0,312	0,22	–
➤ ПАВ (в створах городских рек), (мг/дм ³);	0,04	0,02	0,02	0	–
➤ нефтепродуктам (в створах городских рек), (мг/дм ³).	0,2	0,61	0,53	1,0	1,2

*Створы: 1 – Ивнянский район, исток; 2 – Яковлевский район, с. Кондарево; 3 – Борисовский район, пос. Борисовка; 4 – Грайворонский район, с. Козинка.

По данным табл. 3, кратность превышения рыбохозяйственных ПДК на всем протяжении р. Ворсклы прослеживается по таким загрязнителям, как азот аммонийный, фосфат, хлорид, нефтепродукты, а также по содержанию ряда тяжелых металлов (Zn, Pb, Cu). От истока до пос. Борисовка наблюдается увеличение содержания нитратов, БПК₅ и ХПК.

Из-за того, что Росгидромет не осуществляет мониторинг по основным маркерам воздействия Яковлевского ГОКа на водную среду (таким, как бор, фтор, бром), авторы привлекли собственные данные по створу к югу от с. Крапивное за 2019–2021 гг. При этом отметим, что косвенными показателями техногенного воздействия можно считать хлориды, сульфаты, железо, медь (незначительно), цинк, нефтепродукты. В то же время источниками поступления перечисленных компонентов в водную среду могут выступать и сточные воды от предприятий иного профиля. На основе базы данных за 2008–2021 гг. среди таких показателей, как хлориды, сульфаты, ХПК, БПК₅, соли аммония, нитраты, железо, медь, цинк, марганец, нефтепродукты, взвешенные вещества был проведен расчет попарных коэффициентов корреляции. В сравнении с реками Оскол и Осколец гидрохимический состав воды в р. Ворскле (створ у с. Козинка) обладает

наиболее слабыми связями между отдельными веществами. В частности, достоверная положительная связь установлена между содержанием хлоридов и нефтепродуктов, а отрицательная связь между содержанием сульфатов и БПК₅. Эту картину дополняют выборочные данные по содержанию загрязняющих веществ в р. Ворскле в районе размещения АО «Яковлевский ГОК», которые были получены в 2019–2021 гг. (рис. 7).

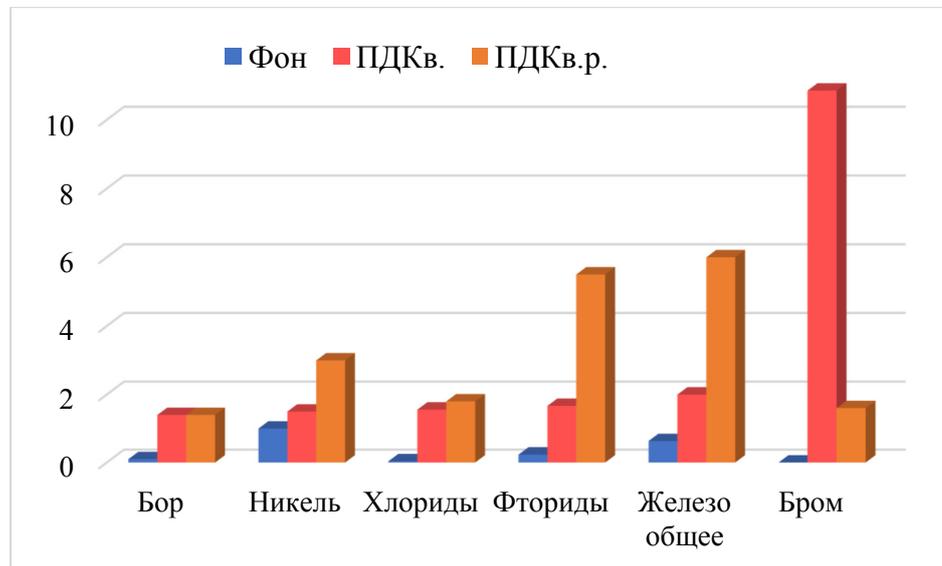


Рис. 7. Превышения предельно допустимых концентраций для питьевого и культурно-бытового водопользования, согласно СанПиН 1.2.3685-21 (ПДКв.) и рыбохозяйственного водопользования (ПДКв.р.) основных загрязняющих веществ в Крапивненском вдхр. и в р. Ворскле у п. Яковлево (Фон) по данным за 2019–2021 гг.

Fig. 7 Exceeding the maximum permissible concentrations (MPC) for drinking and cultural water use, according to SanPiN 1.2.3685-21 (MPCw.) and fishery water use (MPCw.f.) of the main pollutants in the Krapivensky Reservoir and in the Vorskla River near the village of Yakovlevo (Background value) according to data for 2019–2021

Из 12 нормируемых загрязняющих веществ были установлены 6, по которым отмечены превышения ПДК по СанПиН 1.2.3685-21 и ПДК для рыбохозяйственного водопользования. В створе у п. Яковлево, который выбран в качестве «Фона» только по содержанию никеля (0,02 мг/л) содержание химических веществ соответствует ПДК, все остальные показатели уступают нормативным уровням. Однако в воде Крапивненского водохранилища по средним величинам превышений по обоим видам ПДК можно определить ранжированный убывающий ряд поллютантов: Бром > Железо общее > Фториды > Никель > Хлориды > Бор.

Река Ворскла протекает в 4–5 км от месторасположения Яковлевского рудника, что обуславливает преимущественное воздействие на гидроэкологическую ситуацию речных вод таких источников сброса сточных вод, как сельскохозяйственные предприятия и селитебные территории. Ниже по течению (Борисовский и Грайворонский районы) основными загрязнителями Ворсклы являются промышленные предприятия и коммунальные службы четырех поселков. В первую очередь такими антропогенными источниками являются п. Томаровка и Томаровский мясокомбинат, п. Борисовка и др. Единственный створ на р. Ворскле находится на значительном удалении от Яковлевского ГОКа, что обуславливает не совсем точные замеры загрязняющих веществ в пункте отбора проб, однако даже в этом случае, некоторые показатели в реке превышают значения ПДК. Ранее [Петина и др., 2014] было показано, что в створе у с. Козинка к характерным и устойчивым загрязняющим веществам относятся органические вещества



по ХПК и БПК₅, сульфаты и фосфаты, азот аммонийный и нитритный, железо общее и медь. Среднегодовые концентрации азота нитритного достигали 1,2–5,2 ПДК, азота аммонийного 1–1,4 ПДК, фосфатов 1,3–1,7 ПДК, сульфатов 1,1–1,2 ПДК. Негативное влияние на р. Ворсклу оказывает Яковлевский рудник по всем представленным компонентам (за исключением нитратов), которое прослеживается на расстояние до 68 км после сброса сточных вод. По фтору это влияние заметно вплоть до пограничного створа в с. Козинка (102 км после сброса) [Корнилов и др., 2010].

В створе пгт. Яковлево (8 км от истока) природный расход воды в среднем составляет 0,23 (0,09±0,43) м³/с. При освоении Яковлевского железорудного месторождения объем откачиваемых из водопонижающих скважин дренажных и рудничных вод, сбрасываемых в реку, колеблется в пределах 0,18–0,23 м³/с. Увеличение природного объема стока у с. Козинка по сравнению с верховьем приводит к снижению концентрации загрязнителей в речной воде. Синхронные ряды наблюдений (1959–1962 гг.) для створа пгт. Яковлево (56 км²) и у с. Козинка (1870 км²) показывают, что на этом протяжении течения Ворсклы среднегодовые расходы воды увеличиваются на порядок (в 10,5 раз). Как отмечалось выше среднегодовые расходы воды за период 1978–2022 гг. увеличились по сравнению с предыдущими пятью десятилетиями на 10 %. Увеличение водности отражается и при анализе характерных уровней воды в р. Ворскле за многолетний период. Так, амплитуда колебания уровня за многолетний период у поста в пгт. Яковлево составляет 155 см, у с. Новоборисовка – 218 см, а у с. Козинка – 305 см. Результаты экспедиции 2001 года показали, что на пограничном участке максимальные превышения ПДК для водотоков рыбохозяйственного назначения были отмечены для Cr (3,8), Pb (1,9), Mn (17 (от уровня ОДК)), а также по нефтепродуктам, фосфатам, нитритам (в 1,5–2,1 раз), а средний класс по гидробиологическим показателям (по четырем индексам), был определен как III (умеренно загрязненная вода) [Васенко и др., 2003].

По результатам более ранних исследований [Kolmykov et al., 2014] был сделан вывод о том, что в целом река Ворскла справляется с нагрузкой, которую оказывает Яковлевский рудник: концентрация загрязняющих веществ не превышает ПДК в р. либо у с. Кустовое (33 км после сброса для брома, хлоридов, бора), либо у с. Хотмыжск (68 км после сброса для фторидов, ионов натрия). Однако очевидно, что гидроэкологическая ситуация в р. Ворскле в значительной мере напряженная, причем, АО «Яковлевский ГОК» вносит существенный вклад в загрязнение водной среды по таким приоритетным загрязняющим веществам, как хлориды, сульфаты, фториды (их влияние прослеживается вплоть до пограничного створа в с. Козинка) и предположительно соединения бора и брома. По данным на 2021 год в черте с. Козинка сохраняется III «б» класс качества речной воды, а сверхнормативное загрязнение определяется такими поллютантами, как органические соединения, сульфаты и медь.

Химический состав донных отложений из русла Ворсклы.

Довольно активно применяемая практика дноуглубительных работ с формированием канализованного русла сопровождается широким спектром экологических издержек. Даже при ответственном отношении к прибрежной древесно-кустарниковой растительности реконструкция русла малых рек гидромеханическим способом с применением землесосных снарядов часто приводит к негативной трансформации водного режима [Лебедева и др. 2013]. Работа земснаряда может катализировать процессы миграции экотоксикантов в системе «ил–вода». По данным 2001 года было установлено, что у государственной границы максимальное содержание радионуклидов (Бк/л) в воде реки (по Cs-137 и Sr-90) было <0,01, а в донных отложениях – 17,0 (по Cs-137) [Васенко и др., 2003]. Особую опасность для Ворсклы представляет миграция в речную воду таких загрязнителей, как марганец, железо, кадмий, медь. С 2022 года по программе «Развитие водного и лесного хозяйства Белгородской

области» проводится масштабный объем работ по расчистке водных объектов, включая русла рек общей длиной 95 км [Китов, Нарожняя, 2023]. Особенность этого подхода заключается в изъятии жесткой водной растительности с корневой системой в составе донных отложений мощностью до 0,5 м. Геохимическая оценка донных отложений по 9 створам (с. Стрелецкое, пгт. Томаровка, п. Стригуны, п. Борисовка, с. Хотмыжск, санаторий «Красиво», с. Головчино, с. Замостье, г. Грайворон) показала, что по значениям соотношения средних величин к показателям РГФ >1 можно сформировать следующий ранжированный убывающий ряд превышений: Zn подв. (> 6) $>$ MnO, азот аммонийный, нефтепродукты, фосфат ионы, Mn, нитриты (3,8–2,0) $>$ карбонаты, нитраты (1,6–1,5) $>$ P₂O₅, pH (1,2–1,1). Участок реки в границах Стрелецкой и Томаровской территории (Яковлевский городской округ) характеризуется наибольшим спектром превышений показателей относительно РГФ (15), из которых формируется следующий ранжированный ряд превышений: Zn подв. (17) $>$ MnO (> 6) $>$ карбонаты, азот аммонийный, P₂O₅, нефтепродукты (3,9–2,0) $>$ нитриты, Zn, Ni (1,9–1,5) $>$ Mg, P₂O₅, нитраты, Cu (1,4–1,2). В Грайворонском городском округе по руслу реки от с. Головчино до Грайворона наибольшие превышения РГФ были отмечены по содержанию нефтепродуктов и азота аммонийного (2,9–2,6), а также по нитритам, нитратам, свинцу и pH (1,8–1,2).

Заключение

Современную антропогенную преобразованность территории речного бассейна Ворсклы характеризуют средние доли площадей основных угодий по муниципальным образованиям: агроландшафты – 77 %, застройка – 8 %, лесные земли – 9 %. По результатам анализа разностной интегральной кривой среднегодовых расходов воды в р. Ворскле за 93 года определены два периода различающейся водности: 1930–1977 и 1978–2022 гг. Во второй период среднегодовая величина расходов воды увеличилась по сравнению с предшествующим периодом на 10 %, вариация величин расходов снизилась на 5 %, а величины среднегодовых экстремумов (минимумов и максимумов) стали больше при сохранении в обоих периодах того же размаха величин между экстремумами. Проведенные инициативные исследования дренажных вод в местах водовыпусков водохранилищ АО «Яковлевский ГОК» в реку Ворскла показали необходимость регулярных гидроэкологических мониторинговых исследований по ансамблю специфических загрязнителей. С учетом того, что река Ворскла относится к рыбохозяйственным водоемам, по величинам превышений предельно допустимых концентраций для рыбохозяйственного водопользования определены приоритетные для гидроэкологического мониторинга загрязняющие вещества, связанные с техногенным влиянием: железо общее, фториды, никель, хлориды, бром, бор. Геохимическая оценка верхнего, наиболее активного слоя донных отложений от истока реки до г. Грайворона показала, что по количеству превышений содержания мониторинговых показателей над уровнями регионального геохимического фона наиболее напряженная экологическая ситуация отмечается для участка в пределах Яковлевского городского округа. Возможностям Ворсклы к самоочищению способствует увеличение водности в среднем и нижнем течении российского участка реки и климатическая обусловленность увеличения экологического стока в последние четыре десятилетия.

Список источников

Борисовский район: природа, население, хозяйство, экология. 2002. Под ред. Г.И. Бондарева. Белгород–Борисовка, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», 114 с.



- Ресурсы поверхностных вод. Основные гидрологические характеристики. 1967. Т. 6. Украина и Молдавия, вып. 2, Среднее и Нижнее Поднепровье. Л., Гидрометеиздат, 222–223.
- Ресурсы поверхностных вод. Гидрологическая изученность. 1971. Т. 6. Украина и Молдавия, вып. 2, Среднее и Нижнее Поднепровье. Л., Гидрометеиздат, 656 с.
- Речные бассейны Европейской части России. Электронный ресурс. URL: <http://bassepr.kpfu.ru/> (дата обращения: 26.05.2021).

Список литературы

- Бударина В.А., Косинова И.И., Лепендин Д.Г. 2022. Эколого-гидрогеохимические особенности подземных вод геотектонических зон Липецкого горнодобывающего района. Региональные геосистемы, 46(2): 284–297. <http://dx.doi.org/10.52575/2712-7443-2022-46-2-284-297>.
- Васенко А.Г., Колобаев А.Н., Анучкин В.П. 2003. Основные результаты международных экспедиционных исследований качества вод в бассейне Днепра. Харьков, Веста: Издательство «Ранок», 112 с.
- Веденева Е.А. 2018. Моделирование водного стока рек в различных ландшафтных условиях равнинной части европейской территории России. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 42(4): 540–549. <http://dx.doi.org/10.18413/2075-4671-2018-42-4-540-549>.
- Дегтярь А.В. 2005. Гидролого-экологический анализ деградационных процессов в речных бассейнах малых рек юго-запада Центрально-Черноземного региона. Дис. ... канд. геогр. наук. Воронеж, 247 с.
- Демидов В.В., Окулик Е.В. 2007. Миграция химических веществ с поверхностным стоком талых вод. Агрехимия, 1: 62–67.
- Ермолаев О.П., Мухарамова С.С., Мальцев К.А., Иванов М.А., Гафуров А.М., Савельев А.А., Шынбергенов Е.А., Ермолаева П.О., Бодрова А.О., Янцитов Р.О. 2023. География и геоэкология России в мозаике речных бассейнов. География и природные ресурсы, 44(3): 25–33. <http://dx.doi.org/10.15372/GIPR20230303>.
- Китов М.В., Нарожная А.Г. 2023. Экологическое восстановление водных объектов на территории Белгородской области. В кн.: Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах. Материалы X Международной научной конференции, Белгород, 24–27 октября 2023. Белгород, ИД «БелГУ»: 69–71.
- Концепция и программа комплексного использования природных ресурсов «ЭКО ВОРСКЛА-2005». 1997. Белгород-Борисовка, Крестьянское Дело, 74 с.
- Корнилов А.Г., Колмыков С.Н., Кичигин Е.В., Гордеев Л.Ю. 2010. Сравнительная характеристика воздействия горнодобывающих предприятий КМА на экологическую ситуацию рек Белгородской области. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 6: 134–139.
- Кузьменко Я.В., Лисецкий Ф.Н., Пичура В.И. 2012. Оценка и прогнозирование стока малых рек в условиях антропогенных воздействий и изменений климата. Современные проблемы науки и образования, 6: 619.
- Лебедева М.Г., Петина М.А., Гончаревич Е.В., Колмыкова О.Н., Новикова Ю.И., Вагурин И.Ю. 2013. Влияние дноуглубительных работ на водный режим малых рек (на примере реки Болховец). Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 7(160): 168–172.
- Лебедева М.Г., Петина М.А., Новикова Ю.И. 2013. Гидроэкологические характеристики трансграничных рек Белгородской области. Проблемы региональной экологии, 4: 64–68.
- Лисецкий Ф.Н., Дегтярь А.В., Буряк Ж.А., Павлюк Я.В., Нарожная А.Г., Землякова А.В., Маринина О.А. 2015. Реки и водные объекты Белогорья. Белгород, Константа, 362 с.
- Лисецкий Ф.Н., Дегтярь А.В., Голеусов П.В. 1999. Геоэкологический подход к почвоводоохранному обустройству бассейна реки Ворсклы. В кн.: Четырнадцатое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Материалы и краткие сообщения, Уфа, 14–16 сентября 1999 г. Уфа, Башкирский государственный университет: 153–154.

- Лисецкий Ф.Н., Панин А.Г. 2013. Бассейновая концепция природопользования на сельских территориях Белгородской области. Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук, 1: 48–51.
- Мозжерин В.И., Ермолаев О.П., Мозжерин В.В. 2012. Река Казанка и ее бассейн. Казань, ИД МедДоК, 280 с.
- Орехова Г.А., Новых Л.Л. 2017. Природное разнообразие родников верховий бассейнов рек Северский Донец и Ворскла. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 18(267): 131–139.
- Петелько А.И., Панов В.И. 2019. Влияние основных природных факторов на формирование поверхностного стока талых вод в лесомелиорированных агроландшафтах в лесостепной и степной зонах европейской части России. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 43(1): 16–29. <http://dx.doi.org/10.18413/2075-4671-2019-43-1-16-29>.
- Петина М.А., Петина В.И., Новикова Ю.И. 2014. Гидроэкологическое состояние реки Ворскла в пределах Белгородской области. Современные проблемы науки и образования, 6: 1667.
- Позаченюк Е.А., Власова А.Н. 2022. Ландшафтная организация бассейна реки Салгир. Симферополь, Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Типография «Ариал», 278 с.
- Полулях Н.Н., Попытченко Л.М., Пластунов Д.А., Белолипский В.А. 2022. Противоэрозионная эффективность организации агроландшафтов Луганщины на бассейновой основе. Научный вестник Луганского государственного аграрного университета, 4(17): 43–54.
- Решетникова Л.К., Лебедева М.Г., Петина М.А., Стаценко Г.А. 2010. Оценка величины испарения с водной поверхности на юге Центрально-Черноземного региона. Проблемы региональной экологии, 5: 60–64.
- Трифоновна Т.А. 2005. Развитие бассейнового подхода в почвенных и экологических исследованиях. Почвоведение, 9: 32–39.
- Чепелев О.А., Пичура В.И., Павлюк Я.В., Самофалова О.М., Терехин Э.А. 2014. Оценка влияния добычи железных руд на водность рек Белгородской области. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 17(188): 160–164.
- Dos Reis D.A., Fongaro G., da Silva Lanna M.C., Dias L.C.P., Santiago A.D.F. 2019. The Relationship Between Human Adenovirus and Metals and Semimetals in the Waters of the Rio Doce, Brazil. Archives of environmental contamination and toxicology, 77, 144–153. <https://doi.org/10.1007/s00244-019-00625-w>.
- Kolmykov S.N., Kornilov I.A., Kornilov A.G. 2014. Hydrochemical Situation of the Vorskla River in the Vicinity of the Mine Yakovlevsky. Scientific Reports on Resource Issues, 1: 28–33.
- Lisetskii F. 2022. Water Resources of Rivers and Erosion-Accumulation Processes. Bioscience Biotechnology Research Communications, 15(4): 480–482. <http://dx.doi.org/10.21786/bbrc/15.4.1>
- Lisetskii F.N., Buryak Z.A. 2023. Runoff of Water and Its Quality Under the Combined Impact of Agricultural Activities and Urban Development in a Small River Basin. Water, 15(13): 2443. <https://doi.org/10.3390/w15132443>
- Zheltukhina V., Kulikova M., Melentiev A., Kolesnichenko E. 2023. Project of Basin Nature Management of the Vorskla River within the Boundaries of Prokhorovsky District. In: E3S Web of Conferences. II International Conference on Agriculture, Earth Remote Sensing and Environment (RSE-II-2023), Tajikistan, Uzbekistan, Russia, 19–21 April 2023. Tajikistan, Uzbekistan, Russia, Publ. EDP Sciences, Vol. 392: 02020. <http://dx.doi.org/10.1051/e3sconf/202339202020>.
- Rodrigues A.S.D.L., Malafaia G., Costa A.T., Nalini Júnior H.A. 2014. Iron Ore Mining Promotes Iron Enrichment in Sediments of the Gualaxo do Norte River Basin, Minas Gerais State, Brazil. Environmental earth sciences, 71, 4177–4186. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2808-y>
- Samarina V.P., Skufina T.P., Kostyukhin Y.Y., Savon D.Y. 2020. Relationship Between Iron Ore Deposits and Spread of Heavy Metals in Shallow Water Rivers: Natural and Man-Caused Factors. CIS Iron and Steel Review, 19, 75–80.
- Yermolaev O., Mukharamova S., Vedeneeva E. 2021. River Runoff Modeling in the European Territory of Russia. Catena, 203: 105327.



Yudina Y.V., Narozhnyaya A.G., Bunyaeva A.G., Pavlyuk Y.V. 2017. Ensuring a Rational Nature Management in the Transition of Land Use Onto the Basin Principles and Organization of Large Nature Protection Areas. *International Journal of Green Pharmacy*, 11(3): S543–S548.

References

- Budarina V.A., Kosinova I.I., Lependin D.G. 2022. Ecological and Hydrogeochemical Features of Groundwater of Geotectonic Zones of the Lipetsk Mining Region. *Regional Geosystems*, 46(2): 284–297 (in Russian). <http://dx.doi.org/10.52575/2712-7443-2022-46-2-284-297>.
- Vasenko A.G., Kolobaev A.N., Anuchkin V.P. 2003. *Osnovnye rezul'taty mezhdunarodnykh ekspeditsionnykh issledovaniy kachestva vod v bassejne Dnepra* [Main Results of International Expeditionary Studies of Water Quality in the Dnieper Basin]. Kharkov, Vesta: Ranok Publishing House, 112 p.
- Vedeneeva E.A. 2018. Modeling of River Run-off in the Different Landscape Conditions on Plain Part of the European Part of Russia. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series*, 42(4): 540–549 (in Russian). <http://dx.doi.org/10.18413/2075-4671-2018-42-4-540-549>.
- Degtyar A.V. 2005. *Gidrologo-ekologicheskiiy analiz degradatsionnykh protsessov v rechnykh basseynakh malykh rek yugo-zapada Tsentralno-Chernozemnogo regiona* [Hydrological-Ecological Analysis of Degradation Processes in the River Basins of Small Rivers in the Southwest of the Central Black Earth Region]. Dis. ... cand. geogr. sciences. Voronezh, 247 p.
- Demidov V.V., Okulik E.V. 2007. Migration of Chemical Compounds with the Surface Melt-Water Runoff. *Agrochemistry*, 1: 62–67 (in Russian).
- Ermolaev O.P., Mukharamova S.S., Maltsev K.A., Ivanov M.A., Gafurov A.M., Saveliev A.A., Shynbergenov E.A., Ermolaeva P.O., Bodrova A.O., Yantsitov R.O. 2023. Geography and Geoecology of Russia in the Mosaic of River Basins. *Geography and Natural Resources*, 44(3): 25–33 (in Russian). <http://dx.doi.org/10.15372/GIPR20230303>.
- Kitov M.V., Narozhnyaya A.G. 2023. *Ekologicheskoe vosstanovlenie vodnykh ob'ektov na territorii Belgorodskoy oblasti* [Ecological Restoration of Water Bodies in the Belgorod region]. In: *Problemy prirodopolzovaniya i ekologicheskaya situatsiya v Evropeyskoy Rossii i sopredelnykh stranakh* [Problems of Environmental Management and the Environmental Situation in European Russia and Neighboring Countries]. Materials of the X International Scientific Conference, Belgorod, 24–27 October 2023. Belgorod, Publ. "BelSU": 69–71.
- Koncepciya i programma kompleksnogo ispol'zovaniya prirodnykh resursov "EKO VORSKLA-2005" [Concept and Program for the Integrated Use of Natural Resources "ECO VORSKLA-2005"]. 1997. Belgorod-Borisovka, Publ. Peasant Business, 74 p.
- Kornilov A.G., Kolmykov S.N., Kichigin E.V., Gordeev L.Yu. 2010. *Sravnitel'naya harakteristika vozdeystviya gornodobyvayushchih predpriyatij KMA na ekologicheskuyu situatsiyu rek Belgorodskoy oblasti* [Comparative Characteristics of the Impact of KMA Mining Enterprises on the Environmental Situation of Rivers in the Belgorod Region]. *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*, 6: 134–139.
- Kuzmenko Ya.V., Lisetskii F.N., Pichura V.I. 2012. Evaluation and Prediction of Small Rivers Flow in Anthropogenic Impacts and Climate Change. *Modern problems of science and education*, 6: 619 (in Russian).
- Lebedeva M.G., Petina M.A., Goncharevich E.V., Kolmykova O.N., Novikova Yu.I., Vagurin I.Yu. 2013. Impact of Dredging on the Water Regime of Small Rivers (on the Example of the River Bolhovets). *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series*, 7(160): 168–172 (in Russian).
- Lebedeva M.G., Petina M.A., Novikova Yu.I. 2013. The Hydro-Ecological Characteristics of the Transboundary Rivers of the Belgorod Region. *Problems of regional ecology*, 4: 64–68 (in Russian).
- Lisetskii F.N., Degtyar A.V., Buryak Zh.A., Pavlyuk Ya.V., Narozhnyaya A.G., Zemlyakova A.V., Marinina O.A. 2015. *Reki i vodnye ob'ekty Belogor'ya* [Rivers and Water Bodies of Belogorye]. Belgorod, Publ. Constanta, 362 p.
- Lisetskii F.N., Degtyar A.V., Goleusov P.V. 1999. *Geoekologicheskij podhod k pochvovodoohrannomu obustrojstvu bassejna reki Vorskly* [Geoecological Approach to Soil and Water Conservation Management of the Vorskla River basin]. In: *Chetyrnadtsatoye plenarnoye mezhvuzovskoye koordinatsionnoye soveshchaniye po probleme erozionnykh. ruslovykh i ustyevykh protsessov*

- [Fourteenth Plenary Interuniversity Coordination Meeting on the Problem of Erosion, Channel and Estuarine Processes]. Materials and brief communications, Ufa, 14–16 September 1999. Ufa, Publ. Bashkir State University: 153–154.
- Lisetskii F.N., Panin A.G. 2013. Basin Conception of Nature Use in Rurl Areas of Belgorod Oblast. *Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences*, 1: 48–51 (in Russian).
- Mozzherin V.I., Ermolaev O.P., Mozzherin V.V. 2012. Reka Kazanka i ee bassejn [The Kazanka River and Its Basin]. Kazan, Publ. MeDDoK, 280 p.
- Orekhova G.A., Novykh L.L. 2017. Natural Diversity of the Springs in the Upper Basins of the Seversky Donets and Vorskla Rivers. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series*, 18(267): 131–139 (in Russian).
- Petelko A.I., Panov V.I. 2019. The Influence of the Main Natural Factors on the Formation of Surface Flow of Melt Water in Forest-Reclaimed Agricultural Landscapes in the Forest-Steppe and Steppe Zones of the European Part of Russia. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series*, 43(1): 16–29 (in Russian). <http://dx.doi.org/10.18413/2075-4671-2019-43-1-16-29>.
- Petina M.A., Petina V.I., Novikova Yu.I. 2014. Hydroecological Condition of the Vorskla River in the Belgorod Region. *Modern problems of science and education*, 6: 1667 (in Russian).
- Pozachenyuk E.A., Vlasova A.N. 2022. Landshaftnaya organizaciya bassejna reki Salgir [Landscape Organization of the Salgir River Basin]. Simferopol, Publ. Limited Liability Company "Publishing House Printing House "Arial", 278 p.
- Polulyakh N.N., Popytchenko L.M., Plastunov D.A., Belolipsky V.A. 2022. Anti-Erosion Efficiency of Organizing Agricultural Landscapes in the Luhansk Region on a Basin Basis. *Scientific Bulletin of Lugansk State Agrarian University*, 4(17): 43–54 (in Russian).
- Reshetnikova L.K., Lebedeva M.G., Petina M.A., Statsenko G.A. 2010. Assessment of Size of Evaporation from Water Surface in the South of Central Black Earth Region. *Regional environmental problems*, 5: 60–64 (in Russian).
- Trifonova T.A. 2005. Development of a Basin Approach in Pedological and Ecological Studies. *Eurasian Soil Science*, 38(9): 931–937.
- Chepelev O.A., Pichura V.I., Pavlyuk Y.V., Samofalova O.M., Terekhin E.A. 2014. Assessment of Mining Iron Ore on the Water Availability in Belgorod Region. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series*, 17(188): 160–164 (in Russian).
- Dos Reis D.A., Fongaro G., da Silva Lanna M.C., Dias L.C.P., Santiago A.D.F. 2019. The Relationship Between Human Adenovirus and Metals and Semimetals in the Waters of the Rio Doce, Brazil. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 77, 144–153. <https://doi.org/10.1007/s00244-019-00625-w>.
- Kolmykov S.N., Kornilov I.A., Kornilov A.G. 2014. Hydrochemical Situation of the Vorskla River in the Vicinity of the Mine Yakovlevsky. *Scientific Reports on Resource Issues*, 1: 28–33.
- Lisetskii F. 2022. Water Resources of Rivers and Erosion-Accumulation Processes. *Bioscience Biotechnology Research Communications*, 15(4): 480–482. <http://dx.doi.org/10.21786/bbrc/15.4.1>
- Lisetskii F.N., Buryak Z.A. 2023. Runoff of Water and Its Quality Under the Combined Impact of Agricultural Activities and Urban Development in a Small River Basin. *Water*, 15(13): 2443. <https://doi.org/10.3390/w15132443>.
- Zheltukhina V., Kulikova M., Melentiev A., Kolesnichenko E. 2023. Project of Basin Nature Management of the Vorskla River within the Boundaries of Prokhorovsky District. In: E3S Web of Conferences. II International Conference on Agriculture, Earth Remote Sensing and Environment (RSE-II-2023), Tajikistan, Uzbekistan, Russia, 19–21 April 2023. Tajikistan, Uzbekistan, Russia, Publ. EDP Sciences, Vol. 392: 02020. <http://dx.doi.org/10.1051/e3sconf/202339202020>.
- Rodrigues A.S.D.L., Malafaia G., Costa A.T., Nalini Júnior H.A. 2014. Iron Ore Mining Promotes Iron Enrichment in Sediments of the Gualaxo do Norte River Basin, Minas Gerais State, Brazil. *Environmental earth sciences*, 71, 4177–4186. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2808-y>
- Samarina V.P., Skufina T.P., Kostyukhin Y.Y., Savon D.Y. 2020. Relationship Between Iron Ore Deposits and Spread of Heavy Metals in Shallow Water Rivers: Natural and Man-Caused Factors. *CIS Iron and Steel Review*, 19, 75–80.
- Yermolaev O., Mukharamova S., Vedeneeva E. 2021. River Runoff Modeling in the European Territory of Russia. *Catena*, 203: 105327.



Yudina Y.V., Narozhnyaya A.G., Bunyaeva A.G., Pavlyuk Y.V. 2017. Ensuring a Rational Nature Management in the Transition of Land Use Onto the Basin Principles and Organization of Large Nature Protection Areas. *International Journal of Green Pharmacy*, 11(3): S543–S548.

*Поступила в редакцию 14.10.2023;
поступила после рецензирования 25.11.2023;
принята к публикации 01.12.2023*

*Received October 14, 2023;
Revised November 25, 2023;
Accepted December 01, 2023*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Корнилова Евгения Андреевна, старший преподаватель кафедры географии, геоэкологии и безопасности жизнедеятельности, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Evgeniya A. Kornilova, Senior Lecturer of the Department of Geography, Geo-ecology and Life Safety, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Лищцкий Федор Николаевич, доктор географических наук, профессор кафедры природопользования и земельного кадастра, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Fedor N. Lisetskii, Doctor of Geographical Sciences, Professor of the Department of Nature Management and Land Cadastre, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Родионова Мария Евгеньевна, доцент кафедры природопользования и земельного кадастра, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Mariya E. Rodionova, Assistant Professor of the Department of Nature Management and Land Cadastre, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia