

## **ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПРИ РАЗЛИЧИЯХ ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РЕГИОНАЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ РАСЧИСТКИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ)**

Лисецкий Федор Николаевич д.г.н., проф., Морабандза Куму-Буйа, Родионова Мария  
Евгеньевна к.г.н.

E-mail: [liset@bsu.edu.ru](mailto:liset@bsu.edu.ru)

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород,  
Россия

По результатам масштабных исследований донных отложений в реках и водоемах Белгородской области определен ранжированный ряд превышений концентраций тяжелых металлов/металлоидов над региональным геохимическим фоном. Установлены различия превышения геохимического фона в донных отложениях (по содержанию свинца, цинка, меди и марганца) между среднеобластными показателями и для рек, которые испытывают воздействие железорудной промышленности в зоне Курской магнитной аномалии. Интегральная оценка степени опасности загрязнения донных отложений по 10 тяжелым металлам/металлоидам для водных объектов области составляет (по авторской формуле) в среднем 0,8, а у наиболее загрязненных объектов достигает 1,2 за счет более высокого содержания цинка, свинца и железа.

**Ключевые слова:** донные отложения, тяжелые металлы, степень опасности загрязнения, железорудная промышленность

## **GEOCHEMICAL FEATURES OF BOTTOM SEDIMENTS IN DIFFERENT HYDROECOLOGICAL SITUATIONS (BASED ON THE RESULTS OF THE REGIONAL PROGRAM FOR CLEARING WATER BODIES IN THE BELGOROD REGION)**

Fedor N. Lisetskii, D.Sc. in Geography, Professor, Kumu-Buya Morabandza, Maria E.  
Rodionova, Ph.D.

Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

E-mail: [liset@bsu.edu.ru](mailto:liset@bsu.edu.ru)

A ranked series of excesses of concentrations of heavy metals/metalloids over the regional geochemical background was determined based on the results of large-scale studies of bottom sediments in rivers and reservoirs of the Belgorod region. Differences in the excesses of the geochemical background in the content of lead, zinc, copper and manganese in bottom sediments were established between the regional averages and for rivers affected by the iron ore industry of the Kursk magnetic anomaly. The integrated assessment of the degree of hazard of bottom sediment pollution for 10 heavy metals/metalloids for water bodies in the region is on average 0.8, and for the most polluted objects it reaches 1.2 due to the higher content of zinc, lead, and iron.

**Keywords:** bottom sediments, heavy metals, degree of pollution hazard, iron ore industry

В рамках концепции об эрозионно-аккумулятивном процессе [2] причинно-следственные связи прослеживаются в цепочке от отрыва почвенных частиц водным потоком на склоновой подсистеме ландшафта до накопления педоседиментов в подчиненных элементах ландшафта и донных отложений в руслах рек и водоемов. В условиях активного развития эрозии почв на аграрно освоенных водосборах повсеместно отмечается явление деградации малых рек, так как они не могут справиться с перемещением всех

наносов, образованных на водосборе. Ранее [3] был получен важный вывод о том, что характерное для рек европейской территории России в современных условиях снижение объемов половодья, сокращение стока весной, выступает, как фактором динамики водности малых рек, так и фактором их деградации в верховьях. В агроландшафте на уровне бассейновых территориальных структур процессы самоорганизации реализуются (в пространственно-временном отношении) в значительной мере посредством собственных временных ритмов [10, 13]. Климатическая ритмика, как и обусловленные этим цикличность темпов водно-эрозионного процесса и аккумуляции твердого вещества в днищах балок и на пойме, а также расхода воды в русле, определяют целесообразность подстройки путем внедрения адаптированных природоохранных и мелиоративных мероприятий.

В донных отложениях водных объектов часть веществ депонируется и исключается из биотических круговоротов, но многие соединения вымываются и вновь поступают в воду, формируя вторичное загрязнение [4]. Применение дноуглубления русел рек гидромеханическим способом нередко вызывает негативную трансформацию водного режима и может стимулировать процессы миграции экотоксикантов в системе «ил–вода» [12]. Проблема сопряженного загрязнения тяжелыми металлами и другими загрязнителями поверхностных вод, а также донных отложений приобретает свою специфику в районах с развитой горнорудной промышленностью, где химический состав речных вод и водоемов определяют не только жидкий сток с аграрных водосборов и сточные воды от жилищно-коммунального хозяйства, но и дренажные воды карьеров и шахт [9, 8].

Целью работы было обобщение результатов региональной программы по расчистке водных объектов для определения ранжированного перечня тяжелых металлов/металлоидов, концентрация которых в донных отложениях превышает региональный геохимический фон (РГФ), и установление особенностей загрязнения рек и прудов, испытывающих воздействие железорудной промышленности.

В Белгородской области реализуется масштабная программа по расчистке водных объектов, включая участки русел малых рек. В 2022–2023 гг. были выполнены проекты под разработку накопившихся донных отложений и жесткой водной растительности многофункциональным земснарядом для 165 объектов [6]. В 2024 г. планируется провести работы по расчистке русел рек и прудов на 52 участках. Полевые работы выполнялись Центром прикладных исследований и геотехнологий (НИУ БелГУ), аналитические – в лабораториях Института наук о Земле (НИУ БелГУ) и ООО «ЭКО центр» (г. Воронеж). Содержание тяжелых металлов/металлоидов в донных отложениях определяли с помощью метода рентгеноспектрального флуоресцентного анализа в повторностях, содержание органического вещества (ОВ) – по ГОСТ 26213-2021, п. 6.1.

С целью оценки воздействия железорудного комплекса Курской магнитной аномалии (КМА) выбраны реки Ворскла и Оскол с его правым притоком р. Осколец. Точки отбора проб на р. Ворскла находились в 35 км

ниже по течению от сброса дренажных вод от Яковлевского ГОКа (в границах Стрелецкой и Томаровской территории, Яковлевский городской округ), на р. Оскол в п. Чернянка (в 55 км ниже по течению от г. Старый Оскол).

Расчет коэффициентов концентрации загрязняющего вещества, который определяется по соотношению концентраций на исследуемом и фоновом участках, требует выбора фоновых значений. Так как твердое вещество в донных отложениях находится в водной среде, справедливо использовать в качестве фоновых те концентрации загрязняющих веществ в отложениях, которые можно отобрать выше по руслу реки относительно района исследования [9]. Для рек бассейна р. Оскол величины РГФ для донных отложений были определены по водному объекту “Затон”, который находится в границах г. Новый Оскол и на удалении 85,2 км (по руслу р. Оскол) от центра г. Старый Оскол. В качестве РГФ для донных отложений р. Ворсклы выбран створ в истоке этой реки у с. Покровка Ивнянского р-на [8].

Используя ряд критериев (степень опасности тяжелых металлов/металлоидов по результатам экотоксикологических исследований, ряд опасности по общетоксикологическому ГОСТу 17.4.1.02-8, классы опасности) [1], составлен интегрированный ряд: (V, As, Pb, Zn, Cr) > (Ni, Cu, Co) > (Mn, Ba, Fe). Интегральную степень опасности загрязнения донных отложений 10 тяжелыми металлами/металлоидами (Degree of Danger – DD) рассчитывали с учетом величин коэффициентов концентрации загрязняющего вещества и коэффициентов взвешивания на степень опасности, установленного с шагом в 10%, по формуле:

$$DD = (K_{k1} / K_{k1(\phi)} * K_{k2} / K_{k2(\phi)} * \dots * K_{kn} / K_{kn(\phi)})^{1/n},$$

где  $K_{ki}$  и  $K_{ki(\phi)}$  – фактические и фоновые величины коэффициентов концентрации  $i$ -го тяжелого металла/металлоида соответственно; количество загрязнителей ( $n=10$ ).

Концентрации тяжелых металлов/металлоидов в донных отложениях рек и водоемов области представлены на рис. 1 ранжированным рядом, где первые места занимает содержание органического вещества и железа из-за представления их содержания в процентах. Порядок расположения микроэлементов по оси X рис. 1 отражает региональную геохимическую специфику донных отложений как депонирующей среды. По отношению к истокам рек с условно чистой водой, где был обоснован РГФ, наибольшие концентрации в донных отложениях водных объектов области отмечены для органического вещества (в 1,4 раза), цинка (в 1,2 раза) и марганца (в 1,1 раза). Из-за больших различий в объемах выборки для водных объектов области и некоторых истоков рек ( $n=8$ ) выявляются случаи, когда величины РГФ превышают среднеобластные величины: по кобальту (в 1,7 раза), по мышьяку (в 1,4 раза), по свинцу и никелю (в 1,2 раза). Хотя в массиве данных по донным отложениям в реках и водоемах области превышения величин ПДК, установленных для почв, с наибольшей частотой (37%) отмечены для свинца, в 11–14% случаев были превышения по хром, никелю и меди, и по 10% случаев были превышения по цинку и марганцу. Во всех случаях величины РГФ превышены по содержанию железа.

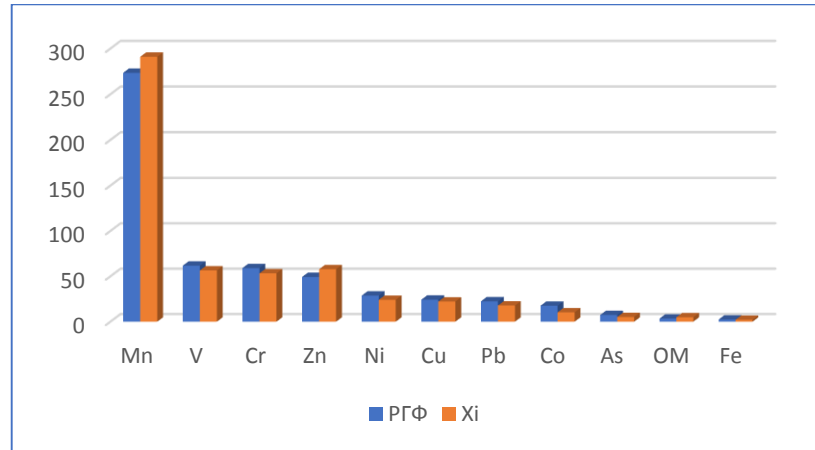


Рис. 1. Величины концентраций химических элементов (Xi, мг/кг), содержания органического вещества (OM, %) и железа (Fe, %) в донных отложениях (n=40) по сравнению с региональным геохимическим фоном (РГФ) рек и водоемов Белгородской области.

Как показывает анализ Рис. 2, по группе тяжелых металлов (Mn, Zn, Cu) наибольшие средние величины превышений РГФ (1,9 раз) характеризуют отложения рек как в зоне непосредственного воздействия Старооскольско-Губкинского промышленного района, так и в 55 км ниже по течению. Несколько меньшие средние величины превышений РГФ (1,8 раз) отмечены для донных отложений ниже сброса дренажных вод в реку Ворскла, тогда как по водным объектам области эта величина в среднем (без влияния сброса дренажных вод) составляет 1,2.

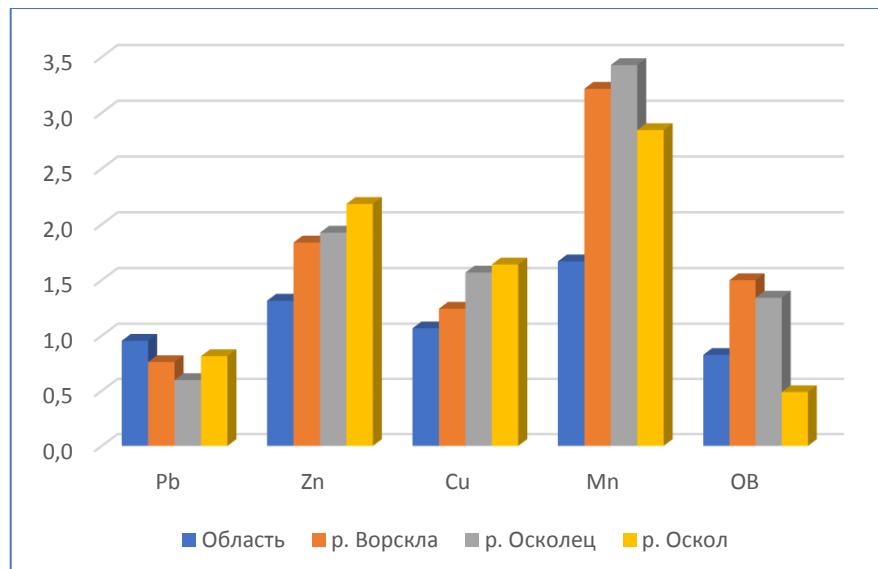


Рис. 2. Величины превышения регионального геохимического фона в донных отложениях рек Белгородской области и в зоне влияния железорудной промышленности КМА

Ранее [14] было установлено, что в донных отложениях пруда в 10-километровой зоне влияния Лебединского ГОКа были превышены

концентрации кадмия (по кларку и ОДК), также некоторых тяжелых металлов (Pb, Zn, Ni) по уровням ПДК. Особенностью донных отложений реки Ворскла в границах Яковлевского городского округа является превышение относительно РГФ таких тяжелых металлов, как  $Zn > Mn > Ni > Cu$  [8]. Если по результатам оценки гидроэкологической ситуации воды р. Оскол была установлена зона активного воздействия горнодобывающего комплекса КМА протяженностью до 15 км [7], то в донных отложениях даже в 55 км ниже по течению р. Оскол от г. Старый Оскол и железорудного района КМА отмечаются значительные превышения геохимического фона, выбранного по параметрам донных отложений пойменного озера в долине р. Оскол, по концентрации марганца и цинка. При этом следует отметить, что при изучении эколого-гидрологических закономерностей аккумуляции тяжелых металлов в донных отложениях рек, находящихся в зоне воздействия КМА, был показан волнообразный характер накопления загрязнителей в донных отложениях по длине рек [11]. По нашим данным, по сравнению со среднеобластными величинами превышений РГФ для рек региона КМА отмечено наибольшая степень обогащения их донных отложений марганцем (в 2,8–3,4 раза), а также цинком (около 2 раз) и медью (в 1,2–1,6 раз). Содержание органического вещества значительно выше фона в отложениях рек Ворскла и Осколец, но в р. Оскол и в среднем по водным объектам области ниже величин фона.

Средняя оценочная степень опасности загрязнения донных отложений 10 тяжелыми металлами/металлоидами в реках и водоемах Белгородской области ( $n=40$ ) составляет 0,8, при этом в разных частях области обнаружено 8 наиболее загрязненных водных объектов, в отложениях которых средняя величина  $DD=1,02$  с вариацией от 0,8 до 1,2, т.е. с различиями в 1,5 раз. Это 4 пруда в разных частях области, а также три створа на р. Везелка, которые были расположены в черте г. Белгорода, и р. Нежеголь в г. Шебекино. Чаще всего и наиболее значительно по сравнению с РГФ эта группа загрязненных водных объектов отличается по высокому содержанию цинка, свинца, железа, в меньшей степени – ванадия, хрома, никеля, меди и марганца. Городские реки, как это было показано для р. Везелка [16], содержат донные отложения, которые при сравнении с ПДК, установленных для почв, относятся к категории со средним уровнем загрязнения (по концентрации Pb, Zn, Cu, V, Ni и  $Fe_2O_3$ ), что определяет определенные ограничения по дальнейшему использованию донных отложений после окончания дноуглубительных работ.

Мероприятия, связанные с расчисткой русел рек, должны быть частью превентивной почвоводоохранной организации агроландшафтов на водосборе, что поможет избежать необходимости в регулярных дноуглубительных работах, требующих привлечения значительных финансовых средств. Региональный опыт Белгородской области по перехвату твердого стока в пределах склоновой подсистемы агроландшафтов с помощью залужения ложбин стока на пашне, который был реализован с охватом этим мероприятием около 5000 га, основан на почвоводоохранном обустройстве водосборов на бассейновых принципах [15]. Кроме того, как показали исследования в Курской области, на пути массопереноса к конечным звеньям

миграции твердого вещества – руслам рек и принимающим водоемам барьерные функции выполняют балочные системы, так как 60–65% наносов способно накапливаться в тальвегах [2]. Если экологическая безопасность донных отложений доказана, то они сами или в составе комплексных органоминеральных удобрений могут быть источником микроэлементов и рассматриваться в качестве мелиоранта, например, для восполнения ресурсов почвенного плодородия эродированных почв [5]. Результаты исследования показали, что верхние (до 0,5 м) слои донных отложений в реках и водоемах Белгородской области оцениваются как экологически безопасные субстраты, применимые в качестве мелиорантов, помимо некоторых объектов (пруды в населенных пунктах и малые реки в промышленных зонах городов), при расчистке которых необходимо предусматривать специальные полигоны для складирования.

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

### Список литературы

1. Водяницкий, Ю.Н. Нормативы содержания тяжелых металлов и металлоидов в почвах / Ю.Н. Водяницкий // Почвоведение. – 2012. – № 3. – С. 368–368.
2. Голосов, В.Н. Перераспределение наносов и связанных с ними загрязняющих веществ в системе «распаханные склоны – балочная сеть – долина малой реки – водохранилище» в условиях изменений климата и землепользования (на примере бассейна Р. Чернь) / В.Н. Голосов, В.Р. Беляев, Е.Н. Асеева, А.Е. Семочкина // Эрозия почв и русловые процессы : Труды научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева / Под редакцией Р.С. Чалова. Выпуск 21. – Москва : Географический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. – 2019. – С. 42–74.
3. Дмитриева, В.А. Динамика водности малых водотоков Верхнедонского бассейна и ее роль в структурно-динамической организации ландшафтов / В.А. Дмитриева, Е.В. Жигулина // Региональные геосистемы. – 2020. – Т. 44. – № 4. – С. 404–414.
4. Иванова, Е.Ю. Аккумуляция генотоксических соединений некоторыми компонентами водных и прибрежных экосистем Воронежского водохранилища / Е.Ю. Иванова // Региональные геосистемы. – 2020. – Т. 44. – № 1. – С. 113–120.
5. Капитальчук, И.П. Седименты как источник микроэлементов для восстановления эродированных почв Молдовы / И.П. Капитальчук, М.В. Капитальчук, Н.А. Голубкина, С.С. Шешнищан, Т.Л. Шешнищан // Проблемы региональной экологии. – 2015. – № 4. – С. 38–43.
6. Китов, М.В. Экологическое восстановление водных объектов на территории Белгородской области / М.В. Китов, А.Г. Нарожняя // Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах. Материалы X Международной научной конференции, Белгород, 24–27 октября 2023. Белгород, ИД «БелГУ». – 2023. – С. 69–71.
7. Корнилов, А.Г. Геоэкологическая ситуация малых рек в зоне влияния Старооскольско-Губкинского горнопромышленного узла / А.Г. Корнилов, А.Н. Петин, М.Г. Лебедева, С.Н. Колмыков // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. – 2009. – № 11-2(66). – С. 101–108.

8. Корнилова, Е.А. Гидроэкологические особенности реки Ворсклы (российский участок) в контексте природно-хозяйственных изменений / Е.А. Корнилова, Ф.Н. Лисецкий, М.Е. Родионова // Региональные геосистемы. – 2023. – Т. 47. – № 4. – С. 550–568.
9. Косинова, И.И. Методологические особенности оценки экологического состояния донных отложений искусственно созданных водных объектов / И.И. Косинова, Т.В. Соколова // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2015. – № 3. – С. 113–121.
10. Круть, И.В. Введение в общую теорию Земли. Уровни организации геосистем. – М.: Мысль, 1978. – 367 с.
11. Кумани, М.В. Изучение транспорта и накопления загрязняющих веществ в донных отложениях рек агропромышленных регионов / М.В. Кумани, Ф.Н. Лисецкий // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т. 13. – № 1-6. – С. 1443–1448.
12. Лебедева, М.Г. Гидроэкологические характеристики трансграничных рек Белгородской области / М.Г. Лебедева, М.А. Петина, Ю.И. Новикова // Проблемы региональной экологии. – 2013. – № 4. – С. 64–68.
13. Лисецкий, Ф.Н. Пространственно-временная организация эрозионноопасных территорий / Ф.Н. Лисецкий // Эрозиоведение: теория, эксперимент, практика, Москва, 26–28 декабря 1991 года. – Москва: Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (Издательский Дом (Типография), 1991. – С. 94–95.
14. Силина, А.Е. Влияние Лебединского ГОКа на донные зооценозы водоемов 10-километровой зоны / А.Е. Силина, И.Н. Костылев // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. – 2008. – № 3(43). – С. 81–95.
15. Lisetskii, F.N. New opportunities of geoplanning in the rural area with the implementing of geoinformational technologies and remote sensing / F.N. Lisetskii, A.V. Zemlyakova, E.A. Terekhin, A.G. Naroznyaya, Y.V. Pavlyuk, P.A. Ukrainskii, ... & O.M. Samofalova // Advances in Environmental Biology. – 2014. – V. 8. – No 10. – P. 536–539.
16. Lisetskii, F.N. Runoff of water and its quality under the combined impact of agricultural activities and urban development in a small river basin / F.N. Lisetskii, Zh.A. Buryak // Water. – 2023. – V. 15. – No. 13. – Art. 2443.