

УДК 911.9 +553 (470.325)

А. О. Полетаев¹
Ф. Н. Лисецкий²

Использование мониторинговых данных и ГИС-технологий для корректировки границ санитарно-защитных зон в связи с развитием Старооскольско-Губкинского промышленного района

¹ ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Федерально-региональный центр аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов, г. Белгород

e-mail: poletaev@bsu.edu.ru

² ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Институт наук о Земле, г. Белгород

e-mail: liset@bsu.edu.ru

Аннотация. Старооскольско-Губкинский промышленный район оказывает значительную и интенсивную техногенную нагрузку на природные среды, включая территорию санитарно-защитных зон. Почвенно-экологический мониторинг актуального загрязнения почв в агроландшафтах, непосредственно примыкающих к промышленной зоне, позволяет предложить обоснованные решения по корректировке конфигурации охранных зон в связи с предполагаемыми расширениями границ железорудного производства. Цель научного исследования состояла в оценке степени техногенной нагрузки на пахотные почвы по ансамблю тяжелых металлов и металлоида (Cr, Ni, Cu, Zn, Pb и As) в контактных зонах агрохозяйственной и горнопромышленной деятельности с использованием величин суммарного показателя загрязнения почв и методов цифровой почвенной картографии. Пахотные земли, расположенные на удалении от 100 до 3400 м от промышленных площадок Лебединского и Стойленского ГОКов, имели превышения ПДК (ОДК) по хром и мышьяку, а по свинцу отмечены отдельные превышения фоновых значений. По величинам суммарного показателя загрязнения пахотных почв, расположенных к северу, западу и югу от промышленных площадок ГОКов на удалении до 3,4 км, экологическая ситуация пока находится в пределах нормы. Судя по величинам суммарного уровня загрязнения почв, наиболее напряженная экологическая обстановка отмечается на пашне, примыкающей к зоне между шламохранилищами Лебединского и Стойленского ГОКов. Поэтому результаты исследования позволяют рекомендовать при дальнейшем развитии Старооскольско-Губкинского промышленного района уделить особое внимание приоритетным загрязнителям (хром, мышьяку и свинцу) при организации периодического почвенно-экологического мониторинга и учитывать наиболее напряженную экологическую ситуацию у западной границы промышленной зоны при корректировке конфигурации санитарно-защитных зон.

Ключевые слова: тяжелые металлы, загрязнение почв, Курская магнитная аномалия, ГИС-технологии, санитарно-защитные зоны.

Введение

В Белгородской области существует проблема техногенного загрязнения земель, наиболее ярко выраженная в границах Старооскольско-Губкинского промышленного района, территория которого включает техногенные ландшафты, где произошли широкомасштабные нарушения почвенного покрова, которые в наибольшей мере связаны с освоением месторождений железных руд [1]. Непосредственно с промышленной зоной контактируют агроландшафты интенсивного использования, в почвенном покрове которых доминируют плодородные черноземные почвы. Старооскольско-Губкинский промышленный район испытывает интенсивную антропогенную нагрузку, а напряженность эколого-хозяйственного состояния территории, диагностируемая по коэффициенту абсолютной напряженности (по соотношению площадей сильно нарушенных земель к слабо- или ненарушенным), оценивается как сильная [2]. Старооскольско-Губкинский промышленный район, а также его почвенный покров были объектами геохимического обследования, что отражено в ряде научных работ [3; 4; 5; 6]. Ранее проведенными исследованиями техногенного прессинга в регионе КМА было показано, что уже в начале 2000-х гг. было активно развито пылевое загрязнение пахотных почв в радиусе до 5 км [4], опасный уровень которого был достигнут в начале 1980-х гг. Вблизи Лебединского месторождения зона достаточно сильного загрязнения почвенного покрова распространяется на расстояние до 10 км с превышением ПДК в поверхностных горизонтах почв в 2 раза таких тяжелых металлов, как Cr, Ni и Cu [7]. Ареал рассеяния железа прослеживается на расстоянии до 7–15 км от источников загрязнения [4]. Значительный вклад в загрязнение почв вносят также талые воды при сходе загрязненного пылью снежного покрова [8].

Цель работы заключалась в частной и интегральной оценке степени техногенной нагрузки на пахотные почвы по 10 загрязнителям в контактной зоне Старооскольско-Губкинского промышленного района для возможной корректировки границ санитарно-защитных зон в связи с перспективным расширением железорудного производства. Это определило следующий круг задач: провести актуальный почвенно-экологический мониторинг в контактных зонах агроландшафтов с существующей промзоной; провести интегральную оценку уровня загрязнения пахотных почв; установить особенности распределения тяжелых металлов в контактных зонах с использованием методов современной цифровой почвенной картографии; предложить учет территорий с наиболее напряженной экологической ситуацией для уточнения конфигурации границ санитарно-защитных зон в Старооскольско-Губкинском промышленном районе.

Материалы и методы

Объектами исследования выбраны пахотные почвы, расположенные на различных расстояниях от границ промышленных зон Лебединского и Стойленского ГОКов (ЛГОК и СГОК) в пределах пяти ключевых участков, а для сравнения – почва в границах заповедного участка «Ямская степь» (ГПЗ «Белогорье»). Для Старооскольско-Губкинского промышленного района общая для ЛГОКа и СГОКа граница санитарно-защитных зон (СЗЗ) представлена на рис. 1, где помимо

существующей производственной зоны также показана планируемая зона, согласно данным территориального планирования (карта функциональных зон Губкинского городского округа, принятая в 2020 г., ссылка: <https://fgistp.economy.gov.ru/lk/#/document-show/263284>). Производственная зона СГОКа изображена в соответствии с картой градостроительного зонирования (правила землепользования и застройки Старооскольского городского округа от 2021 г., приложение №1 к распоряжению управления архитектуры и градостроительства Белгородской области от 8 апреля 2022 г. № 204, ссылка: <https://fgistp.economy.gov.ru/lk/#/document-show/286009>).

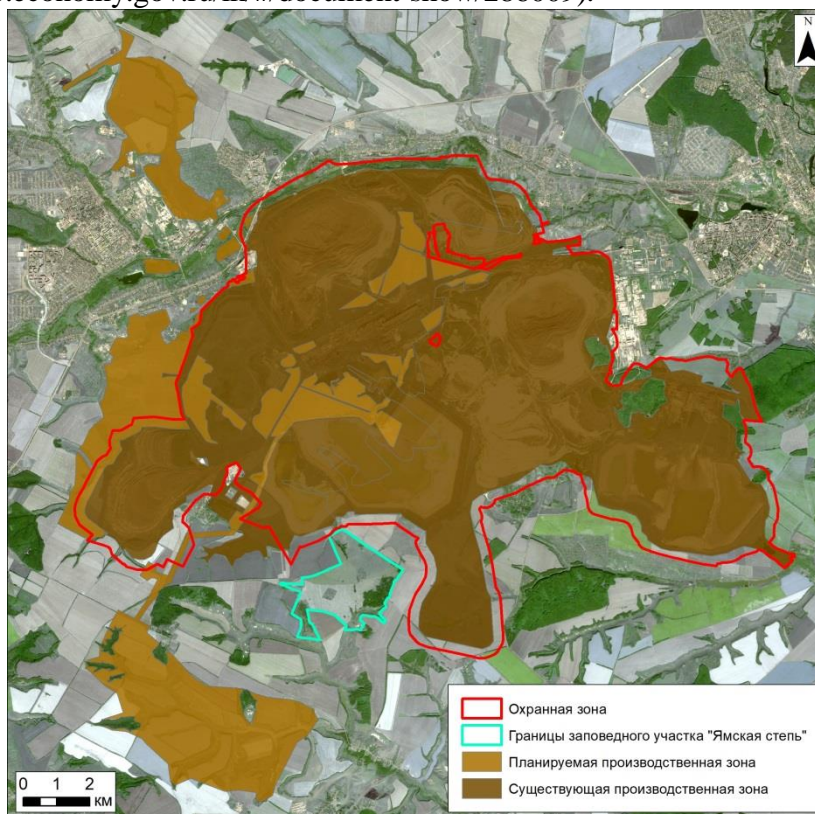


Рис. 1. Общая граница охранных зон ЛГОКа и СГОКа

Составлено авторами на основании данных источника <https://fgistp.economy.gov.ru>

Отбор почвенных образцов на ключевых участках выполняли методом конверта. Для получения данных о содержании девяти тяжелых металлов (ТМ) и металлоида (As) в 48 почвенных образцах использовали метод рентгеноспектрального флуоресцентного анализа с помощью спектрометра «Спектроскан Макс-GV». Массовую долю металлов (оксида железа, оксида марганца, хрома, никеля, свинца, меди, цинка, мышьяка, стронция, бария) определяли в порошковых пробах в двух повторениях. При наличии недопустимых расхождений между результатами первой и второй повторности, что детектировалось в программном обеспечении спектрометра, выполняли последующие повторения до достижения приемлемого результата.

Величины предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) приняты по результатам ранее проведенных исследований [8, 11], что несколько сузило перечень загрязнителей, использованных для последующего анализа. Для интегральной оценки

загрязнения почв использовали два показателя Z_c [9] и $Z_c(r)$ [10]. Показателем Z_c суммарное загрязнение представляется путем суммирования коэффициентов концентрации (Kk) загрязнителей по отношению к фоновым значениям. Показатель $Z_c(r)$ представляет суммарное загрязнение, основанное на формуле среднего геометрического значения коэффициентов концентрации. Расчет указанных показателей был проведен по формулам (1) и (2):

$$Z_c = (\sum_{i=1}^n Kk_i) - (n - 1), \quad (1)$$

$$Z_c(r) = n \times (Kk_1 \times Kk_2 \times \dots \times Kk_n)^{1/n} - (n - 1) \quad (2)$$

Полученные данные о содержании ТМ (Cr, Ni, Cu, Zn, Pb) и металлоида (As) в почвенных образцах стали основой для картосхем, полученных благодаря использованию ПО ArcGIS с применением метода интерполяции обратно взвешенных расстояний (модуль «*Geostatistical Analyst*») и отображающих пространственное распределение ТМ на ключевых участках.

Результаты и обсуждение

Выбор репрезентативных ключевых участков для отбора почвенных образцов с целью последующего определения в них содержания ТМ был обоснован двумя основными условиями. Во-первых, ключевые участки должны располагаться максимально близко к отвалам вскрышных пород Старооскольско-Губкинского промышленного района, в числе которых учтены отвалы: Сланцевый, Меловой, Бродок, Стрелица. Во-вторых, с учетом предшествующих исследований, представленных в виде картограмм содержания свинца, цинка, меди и кадмия в почвах Старооскольско-Губкинского промышленного района [5], ключевые участки должны находиться в зонах повышенного содержания ТМ. С учетом этих условий было выбрано пять ключевых участков на северной, южной и западной периферии промышленного района (рис. 2).

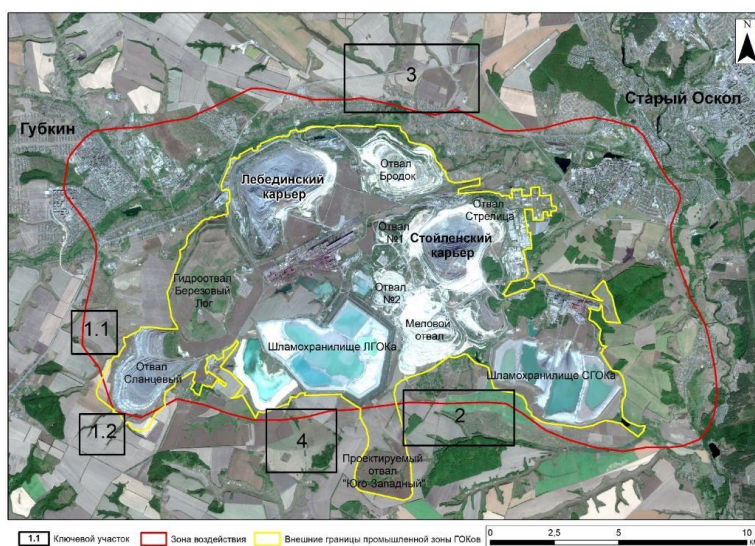


Рис. 2. Картосхема выбранных ключевых участков
Составлено авторами

Изученный ансамбль микроэлементов по средним величинам содержания (мг/кг) в 48 образцах пахотных почв можно представить в виде ранжированного убывающего ряда: MnO (828) > Ba (471) > Sr (109) > Cr (85) > Zn (63) > Ni (40) > Cu (21) > Pb (19) > As (9). Среднее содержание Fe₂O₃ составило в почвах 4,24%. В территориальном аспекте максимальное содержание оксида железа отмечено на ключевом участке №2 (4,5%), а наименьшее – на ключевом участке №4 (3,9%). Особенности пространственного варьирования содержания химических элементов характеризует величина коэффициента вариации, которая отражает сильное варьирование (>20%) по Cu и As, среднее варьирование (10-20%) по Pb, MnO, Cr, Sr и Zn, незначительное варьирование (< 10%) по Ni, Fe₂O₃ и Ba.

Так как в контактной зоне агроландшафтов и СЗЗ Лебединского и Стойленского ГОКов наблюдается увеличение площадей почв, подверженных техногенному загрязнению, возникает необходимость корректировки границ действующих охранных зон. Принимая во внимание тот факт, что существующая производственная зона ЛГОКа в некоторых местах вплотную примыкает к границе охранной зоны и уже частично выходит за ее пределы, актуальной становится задача расширения существующей охранной зоны. Поскольку почвы – это ключевой компонент, который подвергается загрязнению от пылевых выбросов, источником которых является горнорудная промышленность, то для объективного обоснования уточненных границ охранных зон целесообразно использовать мониторинговые данные геохимических исследований почв в прилегающих агроландшафтах.

Обобщение всех данных по ключевым участкам, показало, что превышение ПДК (ОДК) в зоне влияния Лебединского и Стойленского ГОКов было зафиксировано для хрома и мышьяка. Кроме того, в некоторых точках отбора проб величины содержания свинца в почве были высокими (превышали фоновое значение), хотя при этом не наблюдалось превышения ПДК.

Используя полученные аналитические данные по содержанию в почве ТМ, координатно распределённые по мере удаления от существующих границ промзон Лебединского и Стойленского ГОКов, были построены картосхемы распределения показателя Zc (рис. 3). В диапазоне величин Zc от 0 до 4,2 наиболее напряженная экологическая обстановка отмечается на землях южного выступа между шламохранилищами ЛГОКа и СГОКа (ключевой участок №2), а самой благоприятной экологической ситуацией характеризуется контактная зона к югу от шламохранилища ЛГОКа, куда входит «Ямская степь» (ключевой участок №4). На всех ключевых участках максимальные величины суммарного показателя Саета (Zc) не превышали 4,2, и так как были меньше граничного значения, равного 16 [9], это позволяет утверждать, что содержание ТМ в изученных пахотных почвах в полосе, удаленной от границ промышленных зон до 3,4 км, находится в пределах нормы.

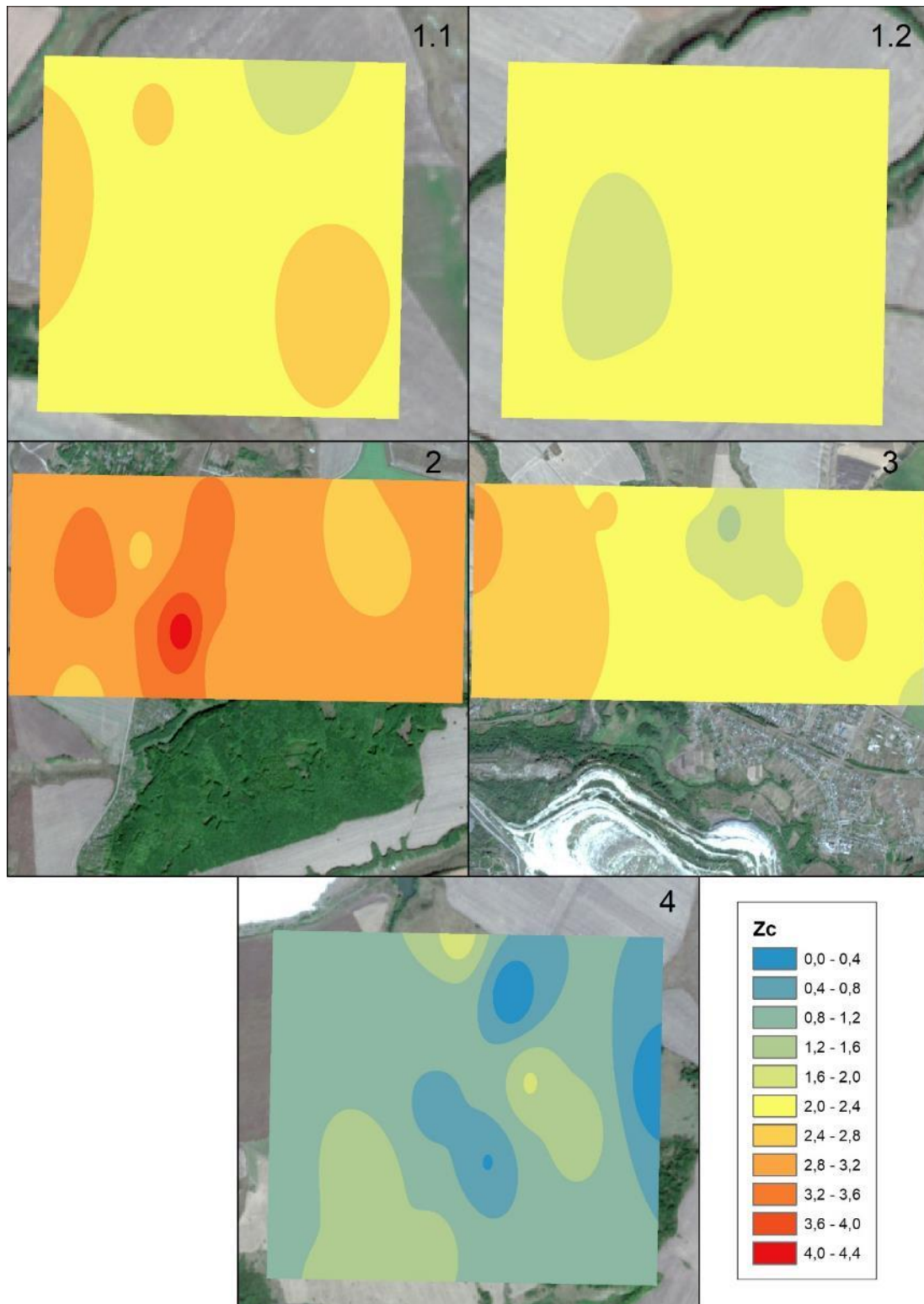


Рис. 3. Распределение показателя Z_c по ключевым участкам
Составлено авторами

Коэффициент корреляции между величинами показателей Z_c и Z_c (г) составил 0,997. Таким образом, информационный потенциал показателей Z_c и Z_c (г) близок (величина достоверности аппроксимации (R^2) составила 0,994). По

всему массиву эмпирических данных статистическая зависимость между величинами Z_c и расстояниями от границ промзон не проявляется. Однако, при величинах $Z_c > 1,0$ ($n = 42$) графическая картина указанной зависимости показывает, что наиболее часто превышения значений $Z_c > 2,5$ отмечаются на удалении от промзон в полосе 1300-2500 м при слабом тренде снижения загрязнения пахотных почв до 3,4 км.

Выводы

Анализ оценки уровня загрязнения пахотных почв на каждом из пяти ключевых участков в периферийной зоне промышленных площадок Лебединского и Стойленского ГОКов по группе тяжелых металлов и металлоида (Cr, Ni, Cu, Zn, Pb и As), показал, что превышения ПДК (ОДК) в почвах под влиянием железорудного производства отмечены для хрома и мышьяка, а для свинца величины содержания в некоторых пробах превышали фоновые значения без превышения ПДК. При обобщении данных по точкам отбора почв ($n=48$), удаленных от границ промышленных зон на расстоянии от 100 до 3400 м, установлено, что средние величины загрязнения почв составили: суммарного показателя Саета (Z_c) – 2,1 (с максимумом 4,2); среднегеометрического коэффициента концентрации Z_c (г) – 2,0 (с максимумом 4,0) при сильном варьировании (по величинам коэффициента вариации 34% и 36% соответственно), что пока соответствует экологической норме. Таким образом, приоритетными загрязнителями при организации почвенно-экологического мониторинга являются хром, мышьяк и свинец, а при уточнении конфигурации санитарно-защитных зон в Старооскольско-Губкинском промышленном районе рекомендуется учитывать наиболее напряженную экологическую ситуацию у западной границы промзоны (вблизи Сланцевого отвала) и у северной границы (вблизи отвала Бродок).

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

Литература

1. Петин А. Н., Игнатенко И. М. Минерально-сырьевые ресурсы богатых железных руд Белгородского района Курской магнитной аномалии // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2016. № 25(246). С. 138-142.
2. Некрич А. С. Оценка эколого-хозяйственного состояния территорий Старооскольского, Губкинского и Яковлевского административных районов Белгородской области // Проблемы региональной экологии. 2007. № 4. С. 28-33.
3. Котенко Е. А., Морозов В. Н., Кушнеренко В. К., Анисимов В. П. Геоэкологические проблемы КМА и пути их решения // Горная промышленность. 2003. № 2. С. 12-16.
4. Лисецкий Ф. Н., Чендев Ю. Г., Голеусов П. В., Чепелев О. А. Загрязнение почвы тяжелыми металлами в зоне Курской магнитной аномалии // Научные

- труды Федерального научного центра гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана. 2004. № 10. С. 286-291.
5. Лисецкий Ф. Н., Боровлев А. Э., Чепелев О. А., Терехин Э. А., Ломиворотова О. М. Мониторинг техногенного воздействия в действующих и вновь создаваемых промышленных районах (на примере Белгородской области) // Экологические системы и приборы. 2011. № 7. С. 30-35.
 6. Замотаев И. В., Иванов И. В., Михеев П. В., Белобров В. П. Трансформация и загрязнение почв в районах добычи железных руд (обзор литературы) // Почвоведение. 2017. № 3. С. 370-384.
 7. Джувеликян Х. А. Влияние техногенных факторов на городские и пригородные ландшафты Центрального Черноземья // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2010. № 1. С. 68-75.
 8. Алексеенко Н. А., Медведев А. А., Михайлова Т. В. Изучение геохимического влияния Губкинского-Старооскольского промышленного комплекса на заповедные экосистемы Ямской степи // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2014. № 6. С. 58-63.
 9. Саэт Ю. Е., Ревич Б. А., Янин Е. П., Смирнова Р. С., Башаркевич И. Л., Онищенко Т. Л., Саркисян С. Ш. Геохимия окружающей среды. М.: Мир, 1990. 319 с.
 10. Водяницкий Ю. Н. Формулы оценки суммарного загрязнения почв тяжелыми металлами и металлоидами // Почвоведение. 2010. № 10. С. 1276-1280.
 11. Кирилук В. П. Микроэлементы в компонентах биосферы Молдовы. Кишинёв: Понтос, 2006. 156 с.

A. O. Poletaev¹
F. N. Lisetskii²

The use of monitoring data and GIS technologies to adjust the boundaries of sanitary protection zones in connection with the development of the Stary Oskol and Gubkin industrial region

¹ Belgorod State National Research University, Federal and Regional Centre for Aerospace and Ground Monitoring of Objects and Natural Resources, Belgorod
e-mail: poletaev@bsu.edu.ru

² Belgorod State National Research University, Institute of Earth Sciences, Belgorod
e-mail: liset@bsu.edu.ru

Abstract. *The Stary Oskol and Gubkin industrial region influences a significant and intense anthropogenic load on the natural environment, including the territory of sanitary protection zones. Soil-ecological monitoring of current soil pollution in agricultural landscapes which are directly adjacent to the industrial zone makes it possible to propose valid decisions on the configuration of protective zones in connection with the proposed expansion of the boundaries of iron ore production. The purpose of the scientific research was to assess the degree of technogenic load on*

arable soils concerning an ensemble of heavy metals and metalloids (Cr, Ni, Cu, Zn, Pb and As) in contact zones of agricultural and mining activities using the values of the total indicator of soil pollution and digital soil mapping methods. Arable lands located at a distance from 100 to 3400 m from the industrial sites of the Lebedinsky and Stoilensky mining and processing plants had exceedances of the maximum permissible concentration (MAC) for chromium and arsenic, for lead single excesses of background values were noted. In terms of the total pollution indicator of arable soils located to the north, west and south of the industrial sites of mining and processing plants at a distance of up to 3.4 km, the environmental situation has been still within normal limits. Judging by the values of the total level of soil contamination, the tensest ecological situation is observed on the arable land adjacent to the zone between the sludge storage facilities of the Lebedinsky and Stoilensky mining and processing plants. Therefore, the results of the study allow us to recommend that when further developing the Stary Oskol and Gubkin industrial region and adjusting the configuration of sanitary protection zones, we take into account, first of all, the tensest environmental situation at the western border of the industrial zone, and when organizing periodic soil-ecological monitoring, pay special attention to priority pollutants (chromium, arsenic and lead).

Keywords: heavy metals, soil pollution, Kursk magnetic anomaly, GIS technologies, sanitary protection zones.

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.

References

1. Petin A. N., Ignatenko I. M. Mineral'no-syr'evye resursy bogatyyh zheleznyh rud Belgorodskogo rajona Kurskoj magnitnoj anomalii // Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennyye nauki. 2016. № 25(246). S. 138-142. (in Russian).
2. Nekrich A. S. Ocenka jekologo-hozjajstvennogo sostojanija territorij Starooskol'skogo, Gubkinskogo i Jakovlevskogo administrativnyh rajonov Belgorodskoj oblasti // Problemy regional'noj jekologii. 2007. № 4. S. 28-33. (in Russian).
3. Kotenko E. A., Morozov V. N., Kushnerenko V. K., Anisimov V. P. Geojekologicheskie problemy KMA i puti ih reshenija // Gornaja promyshlennost'. 2003. № 2. S. 12-16. (in Russian).
4. Lisetskii F. N., Chendev Yu. G., Goleusov P. V., Chepelev O. A. Zagryaznenie pochvy tzhzhelymi metallami v zone Kurskoj magnitnoj anomalii // Nauchnye trudy Federal'nogo nauchnogo centra gigeny im. F.F. Jerismana. 2004. № 10. S. 286-291. (in Russian).
5. Lisetskii F. N., Borovlev A. E., Chepelev O. A., Terekhin E. A., Lomivorotova O. M. Monitoring tehnogennoho vozdejstvija v dejstvujushhhih i vnov' sozdavaemyh promyshlennyh rajonah (na primere Belgorodskoj oblasti) // Jekologicheskie sistemy i pribory. 2011. № 7. S. 30-35. (in Russian).
6. Zamotaev I. V., Ivanov I. V., Mikheev P. V., Belobrov V. P. Transformacija i zagryaznenie pochv v rajonah dobychi zheleznyh rud (obzor literatury) // Pochvovedenie. 2017. № 3. S. 370-384. (in Russian).

7. Juvelikyan H. A. Vlijanie tehnogennyh faktorov na gorodskie i prigorodnye landshafty Central'nogo Chernozem'ja // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Himija. Biologija. Farmacija. 2010. № 1. S. 68-75. (in Russian).
8. Alekseenko N. A., Medvedev A. A., Mikhailova T. V. Izuchenie geohimicheskogo vlijanija Gubkinsko-Staroskol'skogo promyshlennogo kompleksa na zapovednye jekosistemy Jamskoj stepi // Izvestija vuzov. Geodezija i ajerofotos#emka. 2014. № 6. S. 58-63. (in Russian).
9. Sayet Yu. E., Revich B. A., Yanin E. P., Smirnova R. S., Basharkevich I. L., Onishchenko T. L., Sarkisyan S. Sh. Geohimija okruzhajushhej sredy. M.: Mir, 1990. 319 s. (in Russian).
10. Vodyanitsky Yu. N. Formuly ocenki summarnogo zagrjaznenija pochv tjazhelymi metallami i metalloidami // Pochvovedenie. 2010. № 10. S. 1276-1280. (in Russian).
11. Kirilyuk V. P. Mikrojelementy v komponentah biosfery Moldovy. Kishinjov: Pontos, 2006. 156 s. (in Russian).

Поступила в редакцию 26.08.2023 г.