



УДК 504.054

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ГОРОДСКИХ ПОЧВ К АЭРОТЕХНОГЕННОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ (НА ПРИМЕРЕ Г. БЕЛГОРОДА)**EVALUATION OF STABILITY OF URBAN SOILS TO TECHNOGENIC IMPACT (ON EXAMPLE OF THE TOWN BELGOROD)****А.Э. Боровлев****A.E. Borovlev**

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85*

Belgorod state national research university, 85, Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia

E-mail: borovlev@bsu.edu.ru

Аннотация. Выполнена оценка потенциальной устойчивости незапечатанных городских почв к аэротехногенному воздействию в разрезе функциональных зон г. Белгорода. Установлено, что наибольшей устойчивостью к воздействию аэротехногенных выбросов карбонатной пыли обладают почвы водоохранной зоны, наиболее уязвимы – почвы, которые расположены на землях сельскохозяйственного назначения, в промышленной зоне, а также в рекреационной зоне и вблизи транспортной инфраструктуры. На основе выполненной оценки потенциальной устойчивости незапечатанных городских почв к аэротехногенному воздействию создана методическая основа для установления нормативов выбросов карбонатной пыли с учетом перспективного развития производств строительных материалов.

Resumé. Performed an assessment of the potential sustainability of unsealed urban soils to environmental impact in the context of the functional areas of the city of Belgorod. It is established that the greatest resistance to the effects of aerotechnogenic emissions of carbonaceous dust have soils of a water protection zone, the most vulnerable soils located on the agricultural land in the industrial zone, as well as in the recreational area and near transport infrastructure. On the basis of the performed assessment of the potential sustainability of unsealed urban soils to environmental impact formed the methodological basis for the establishment of standards for emissions of dust carbonate from the perspective of development of production of construction materials.

Ключевые слова: устойчивость почв, аэротехногенное воздействие, карбонатная пыль, функциональные зоны, почвенно-экологический мониторинг.

Key words: stability of soils, technogenic impact, carbonate dust, functional areas, soil-ecological monitoring.

Введение

В воздушный бассейн промышленно развитого города поступают значительные объемы твердых загрязняющих веществ (ЗВ) в результате производственной деятельности и строительства. Состав пыли, оседающей на поверхность в разных функциональных зонах города, может во многом определять общие тенденции в трансформации почвенных свойств, и, в первую очередь, гранулометрического состава, гумусированности и буферности. Городские почвы, как правило, подвергаются подщелачиванию в результате применения противогололедных реагентов, а также попадания строительной пыли, содержащей повышенное количество карбоната кальция. Т.М. Минкиной с соавторами [2010] показано, что содержание карбонатов в почве и уровень рН оказывают влияние на трансформацию соединений тяжелых металлов (ТМ), т. к. химический состав почвенного раствора, процессы растворения, миграции, осадкообразование карбонатов и характер ионообменных процессов на границе раздела фаз зависят от карбонатно-кальциевого равновесия. Как было установлено ранее по почвам Белгородской области [Голеусов, Лапкин, 2007], на буферную способность почв большое влияние оказывают два фактора: сорбционный, определяемый емкостью катионного обмена, суммой *Ca* и *Mg*, суммой поглощенных оснований, содержанием гумуса и гранулометрическим составом; и кислотно-щелочной, определяемый, в



основном, гидролитической кислотностью и pH почвы. Буферность почв по отношению к ТМ может быть оценена как линейная комбинация почвенных свойств, определяющих сорбционную активность почв, но при этом определяющее значение имеют такие почвенные свойства, как гранулометрический состав и содержание гумуса.

Наличие в г. Белгороде крупных предприятий промышленности строительных материалов и строительного комплекса, перспективы его развития в сложившейся практике географического разделения труда, обуславливают актуальность оценки устойчивости городских почв к воздействию промышленных выбросов карбонатной пыли.

Объекты и методы исследования

Цель работы заключалась в оценке потенциальной устойчивости незапечатанных городских почв к аэротехногенному воздействию в разрезе функциональных зон промышленно-развитого города, а также разработке рекомендаций по снижению техногенной нагрузки на компоненты окружающей среды города.

Объекты исследования расположены на территории г. Белгорода, площадью 15.6 тыс. га и численностью населения 384.4 тыс. человек (по данным на 1 января 2015 г.). В 2014 г. выброс ЗВ составил по г. Белгорода 63.6 тыс. т., или 167.5 кг на одного жителя и 415.1 т/км². В объеме выбросов ЗВ доля стационарных источников составляет 11.5%, автотранспорта – 88.5%. Около 98.0% объема выбросов ЗВ от стационарных источников приходится на 56 крупных предприятий промышленного комплекса (производства строительных материалов, машиностроения и металлообработки, пищевых продуктов и др.), расположенных в основном в двух промышленных зонах – западной и восточной. В структуре выбросов ЗВ преобладают газообразные и жидкие фракции (97.5%) с основным вкладом автотранспорта (89.8%). По твердым ЗВ основной вклад в загрязнение воздушного бассейна (97.5%) вносят выбросы от стационарных источников. Региональной особенностью аэротехногенного загрязнения природных сред твердыми ЗВ города Белгорода является доминирующая роль карбонатной пыли в выбросах 11-ти крупных предприятий строительных материалов, жилищного и дорожного строительства.

Автором выбраны следующие объекты исследования: источники загрязнения атмосферы пылью карбонатного состава, содержащейся в выбросах ЗАО «Белгородский цемент», ОАО «Стройматериалы», ОАО «Белгородасбестоцемент», ОАО «Завод керамзитового гравия ЖБК-1», ОАО «Завод ЖБК-1», ЗАО «ЗНО и М», ОАО «ДСУ-6», ООО «Белдорстрой», ОАО «Белгородстройдеталь», ООО «Линдор», ООО «ЖБИК-4». А также почвы территорий функциональных зон города (жилая зона, промышленная зона, рекреационная зона, зона санитарной охраны водоемов, транспортная зона, зона сельскохозяйственного использования). Оценка их санитарного состояния проводится в соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими требованиями к качеству почв территории населенных мест (СанПиН 2.1.7.1287-03).

В исследовании применяли следующие методы: картографический, математико-статистический, методы математического моделирования и системно-функционального анализа. Особое внимание уделено внедрению ГИС-технологий в практику научных исследований. Анализ пространственного распределения ЗВ в атмосферном воздухе и территории города выполнен в ГИС методами оверлея, интерполяции и пространственной статистики.

Результаты и их обсуждение

На основе анализа базы данных сводного тома предельно допустимых выбросов предприятий г. Белгорода и отчетности предприятий по форме 2-ТП (воздух) за последние пять лет автором установлено, что выброс карбонатной пыли в атмосферу города составляет 1401 т/год. Из них около 40% от общего объема выбросов приходится



на источники с высотой выброса твердых ЗВ более 50 м (высокие источники) производств строительных материалов. Согласно проведенных автором расчетов с использованием универсальной программы расчета загрязнения атмосферы (УПРЗА) «Эколог 3.0» зона влияния выбросов карбонатной пыли составляет 2600–3840 м и определяется в основном высокими источниками ЗАО «Белгородский цемент». Таким образом, формирование участков засоления почв карбонатами кальция возможно не только в промышленной зоне, но и в других функциональных зонах города.

На основании результатов почвенно-экологического мониторинга в крупных промышленно развитых городах проводится оценка степени опасности земель, и даются рекомендации по их использованию. Связь источников загрязнения атмосферы и других сред, тип функциональной зоны и вариативный набор из 24 потенциальных показателей оценки санитарного состояния городских почв, определенный СанПиН 2.1.7.1287-03, позволяют провести ранжирование приоритетов для эффективной организации почвенно-экологического мониторинга по функциональным зонам. Исходя из количества обязательных показателей качества почв, автором каждой функциональной зоне был присвоен ранг, отражающий ее приоритет для мониторинга в условиях городской среды (в порядке убывания):

- 1 ранг – зона санитарной охраны водоемов;
- 2 ранг – жилая зона;
- 3 ранг – рекреационная зона;
- 4 ранг – почвы на землях сельскохозяйственного назначения;
- 5 ранг – промышленная зона;
- 6 ранг – транспортные магистрали.

Используя комплексную оценку различий почв по гранулометрии, гумусированности, карбонатности и величине рН автором выполнена пространственно-распределенная оценка устойчивости почв к аэротехногенному воздействию в разрезе функциональных зон с учетом требований СанПиН 2.1.7.1287-03.

Для территории Белгорода автором создана электронная карта почвенного покрова, для которой была сформирована база данных, включившая 21 почвенный вид: от зональных (черноземы типичные и выщелоченные, темно-серые и серые лесостепные) до азональных и интразональных почв (пойменные луговые, пойменные болотные, черноземы солонцеватые, дерново-намытые почвы). Все почвы в базе данных были дифференцированы по гранулометрическому составу, степени эродированности, мощности гумусового горизонта, степени гумусированности. Это позволило, используя аналитические данные Гипрозема при проведении крупномасштабной почвенной съемки, представленные в работе В.Д. Соловиченко [2005] и ранее выполненные А.В. Свиридовой [2008] карты по распределению содержания органического углерода в почвах г. Белгорода, а также стандартные шкалы гранулометрического состава по содержанию физической глины (суммы частиц <math><0.01\text{ мм}</math>) и гумусированности, перевести классификационные характеристики почв в оценочные баллы (от 1 до 9 по сумме частиц <math><0.01\text{ мм}</math> и от 1 до 5 по степени гумусированности). Кроме того, используя 9-тиступенчатую градацию величин рН (реакция почвенного раствора по территории г. Белгорода, выполненная А.В. Свиридовой [2008]), от рН=7 (нейтральная реакция) в меньшую и большую стороны присвоены баллы в диапазоне варьирования этой величины по территории г. Белгорода от 5.5 до 10.

Таким образом, была получена оценка буферности почв, позволяющая составить представление об устойчивости почв к потенциальному аэротехногенному воздействию загрязнителей на основе комплексного учета гранулометрического состава, гумусированности и реакции почвенного раствора, прямо связанной с карбонатностью почв (рис. 1).

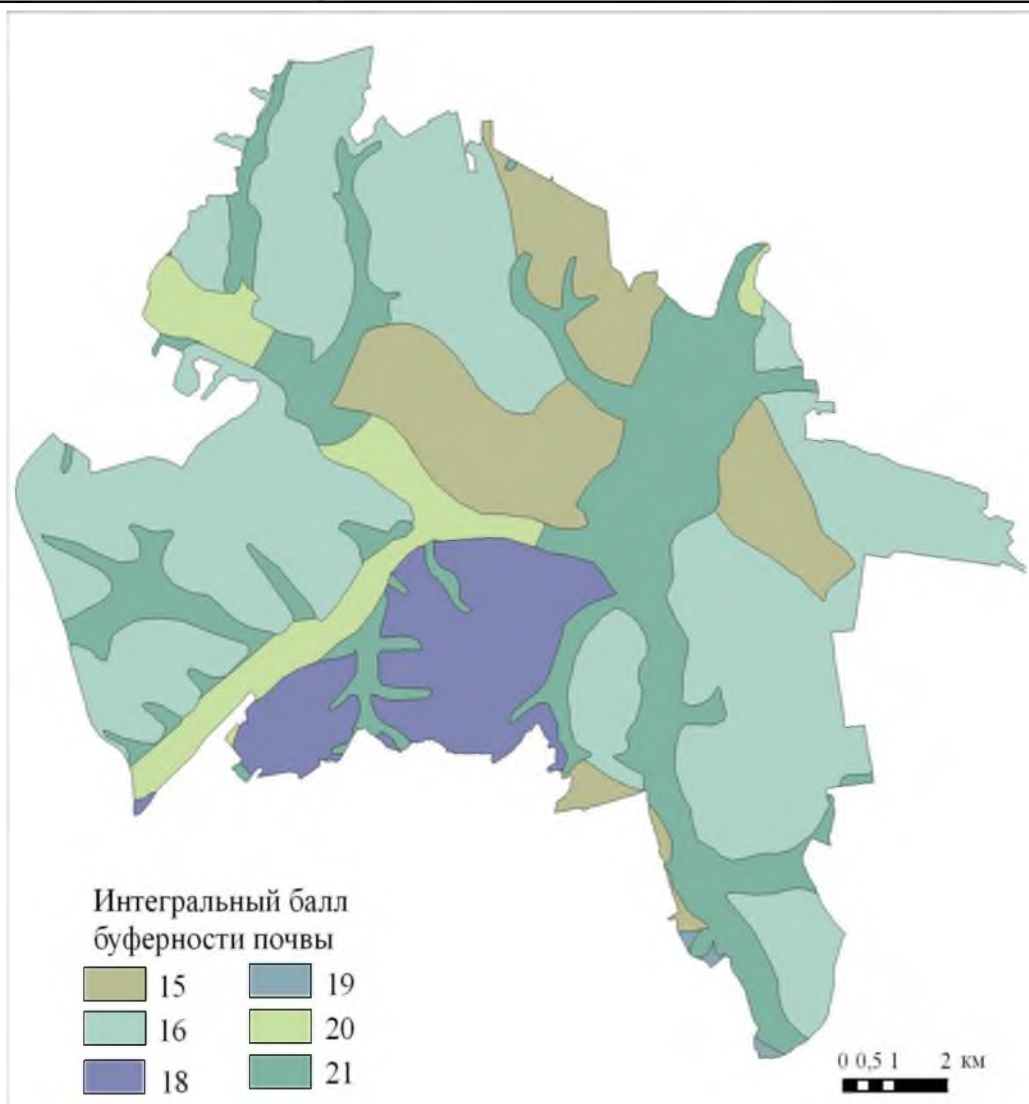


Рис. 1. Интегральная оценка буферности почв на территории функциональных зон г. Белгорода
 Fig. 1. An integrated assessment of buffer capacity of soils on the territory of the functional zones of the Belgorod

Для получения комплексного показателя, учитывающего влияние выбросов карбонатной пыли на городские почвы, автором применен следующий алгоритм. На основе ГИС анализа рассчитанных среднемесячных приземные концентрации пыли карбонатной по данным базы ПДВ г. Белгорода с использованием расчетного блока «Средние» совместно с УПРЗА «Эколог 3.0», учитывающего розу ветров и режим других определяющих метеорологических параметров изучаемого района, получено распределение выпадений пылевых частиц на подстилающую поверхность города. Интенсивность выпадений рассчитана по формуле (3.1) РД 52-04-186-89 с учетом определения скорости оседания частиц (0.9 см/с) по формуле Стокса на основе усредненных данных дисперсного состава пылевых выбросов производств строительных материалов (размер частиц менее 10 мкм составляет 69% объема выбросов карбонатной пыли). Далее на основе полученного распределения изолиний интенсивности выпадений карбонатной пыли в интервале 0.01–8.46 кг/м² сут. рассчитан понижающий балл по отношению к буферности почвы для каждого диапазона. Затем с использованием программы ArcGIS 10.1 методом оверлея пространственных слоев были скорректированы баллы буферности почв и получена интегральная оценка устойчивости почв к аэротехногенному воздействию (рис. 2).

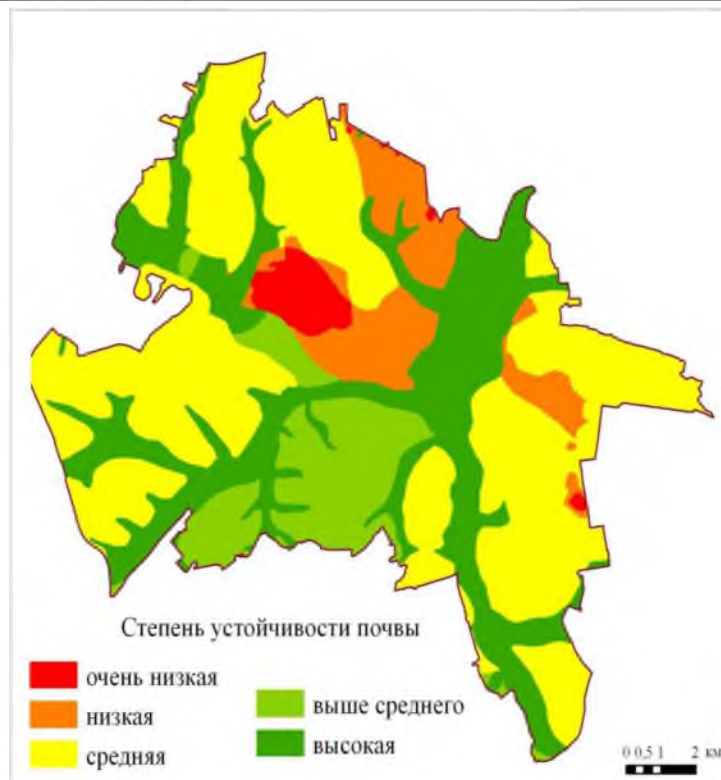


Рис. 2. Степень устойчивости незапечатанных почв к аэротехногенному воздействию на территории г. Белгорода

Fig. 2. The degree of resistance of unsealed soils to technogenic impact on the territory of the Belgorod

Территориальное распределение оценок разной степени устойчивости городских почв Белгорода к аэротехногенному воздействию в разрезе функциональных зон выполнено в ArcGIS 10.1 с использованием данных Генерального плана застройки г. Белгорода и ранжирования шести типов функциональных зон по СанПиН 2.1.7.1287-03 в порядке их приоритетности для проведения почвенно-экологического мониторинга в условиях городской среды (табл. и рис. 3).

Таблица
Table

Территориальное распределение оценок разной степени устойчивости городских почв Белгорода к аэротехногенному воздействию в разрезе функциональных зон и территорий (по СанПиН 2.1.7.1287-03) (без водных объектов)

The territorial distribution of estimates of varying degrees of sustainability urban soils of Belgorod to environmental impact in terms of functional areas and territories (according to SanPiN 2.1.7.1287-03) (excluding water bodies)

| Приоритет мониторинга (ранги) | Функциональные зоны и территории | Площадь, га | | | | | | Итого |
|-------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------|--------|------|-------|--------|---------|
| | | Интегральный балл устойчивости почвы | | | | | | |
| | | 15 | 16 | 18 | 19 | 20 | 21 | |
| 1 | Водоохранная зона | 141.4 | 175.6 | 11.6 | 22.9 | 547.3 | 1185.2 | 2084.0 |
| 2 | Жилая зона | 490.4 | 1787.1 | 800.1 | 0.0 | 201.5 | 684.9 | 3964.0 |
| 3 | Рекреационная зона | 204.4 | 1238.2 | 202.5 | 3.0 | 46.5 | 409.4 | 2104.0 |
| 4 | Земли с.-х. назначения | 34.5 | 31.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.9 | 68.1 |
| 5 | Промышленная зона | 426.3 | 1104.1 | 35.8 | 0.0 | 27.0 | 177.9 | 1771.1 |
| 6 | Транспортные магистрали | 416.0 | 1403.5 | 309.1 | 0.0 | 115.7 | 463.3 | 2707.6 |
| | Итого | 1713.0 | 5740.2 | 1359.1 | 25.9 | 938.0 | 2922.6 | 12698.8 |
| | Прочие территории* | 443.4 | 1565.8 | 172.1 | 0.0 | 93.4 | 626.6 | 2901.3 |

Примечание: * – городские земли, которые по СанПиН 2.1.7.1287-03 не попадают в типологию функциональных зон и территорий.

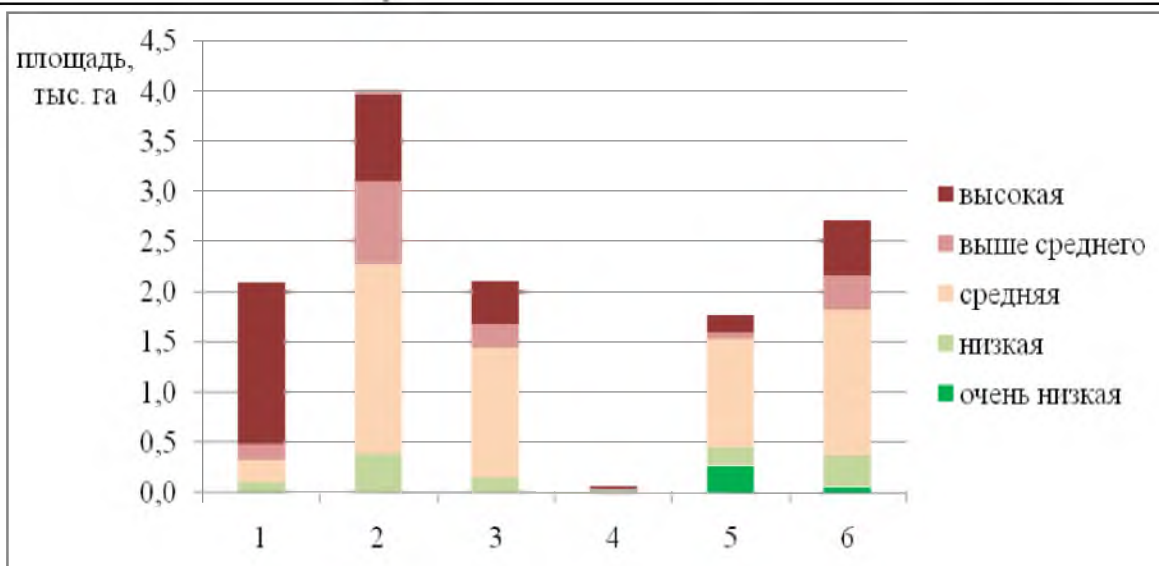


Рис. 3. Распределение площадей почв разной степени устойчивости к аэротехногенному воздействию по функциональным зонам г. Белгорода:

1 – водоохранная зона; 2 – жилая зона; 3 – рекреационная зона; 4 – земли с.-х. назначения; 5 – промышленная зона; 6 – транспортные магистрали

Fig. 3. The distribution of space in soils of various degree of resistance to environmental impact across functional areas of the Belgorod:

1 – water protection area; 2 – residential zone; 3 – recreation zone; 4 – the earth of agricultural purpose; 5 – industrial area; 6 – highways

В результате автором получена оценка потенциальной устойчивости незапечатанных городских почв Белгорода к аэротехногенному воздействию в разрезе функциональных зон. Она показала, что помимо водоохранной зоны, почвы которой на преобладающей площади (76.8%) обладают высокой устойчивостью к аэротехногенным загрязнениям, при крайне неравномерном распределении источников загрязнения атмосферы (89% сосредоточено в западной и восточной промышленных зонах), на остальных пяти функциональных зонах доминирующие площади занимают ареалы почв с невысокой степенью устойчивости: низкой (12.7%) и средней (48.3%). На этих территориях представлены почвы легкого гранулометрического состава, малогумусные и имеющие природную или антропогенно обусловленную слабую или умеренную щелочность ($pH=8-9$).

Наибольшей устойчивостью городских почв Белгорода к воздействию аэротехногенных выбросов карбонатной пыли отличается водоохранная зона, наиболее уязвимы почвы, которые расположены на землях сельскохозяйственного назначения, в промышленной зоне, а также в рекреационной зоне и вблизи транспортной инфраструктуры. Промежуточное положение занимают почвы, расположенные в жилой зоне.

Заключение

На основе оценки потенциальной устойчивости почв к аэротехногенному воздействию представляется возможным анализировать экологическое состояние функциональных зон промышленно-развитого города и разработать предложения по регулированию объемов аэротехногенных выбросов.

Дальнейшее развитие специализации Белгородской области в производстве строительных материалов на собственной ресурсной базе приведет к усилению влияния аэротехногенного воздействия выбросов карбонатной пыли на территориях г. Белгорода с низкой устойчивостью почв. С учетом фактически достигнутых величин ($pH=8-9$) в верхнем слое почв с низкой устойчивостью при увеличении аэротехногенной нагрузки прогнозируется превышение указанных величин pH , что может привести к уменьшению подвижности в почве важных для питания растений микроэлементов, и впоследствии – к ухудшению состояния парков центрального планировочного района города.



Перспективное развитие производств строительных материалов в г. Белгороде целесообразно обуславливать ограничением поступления твердых ЗВ в атмосферу от производств строительных материалов на основе установления полей квот концентраций ЗВ для отдельных участков территории рекреационных зон с низкой степенью устойчивости к воздействию аэротехногенных выбросов карбонатной пыли. Оптимальным решением указанной проблемы для г. Белгорода является разработка нормативов предельно допустимых выбросов твердых ЗВ с учетом полученных результатов потенциальной устойчивости почв к аэротехногенному воздействию на базе разработанной для г. Белгорода специализированной геоинформационной аналитической системы [Чепелев, Боровлев, 2011; Боровлев и др., 2013].

Список литературы References

1. Боровлев А.Э., Лисецкий Ф.Н., Чепелев О.А. 2013. Развитие системы управления качеством атмосферного воздуха для города Белгорода. *Фундаментальные исследования*, 4 (6): 922–929.

Borovlev A.E., Liseckii F.N., Chepelev O.A. 2013. The development of the system of quality management of atmospheric air for the city of Belgorod. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental research], 4 (6): 922–929. (in Russian)

2. Голеусов П.В., Лапкин В.В. 2007. Оценка буферности почв по отношению к загрязнению тяжелыми металлами (на примере Старооскольско-Губкинского промышленного района). *В кн.: Материалы Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции молодых ученых «Геоэкология и рациональное природопользование: от науки к практике»* (г. Белгород, 15–17 октября 2007 г.). Белгород, Из-во БелГУ: 130–132.

Goleusov P.V., Lapkin V.V. 2007. Evaluation of the buffer capacity of soils with respect to contamination by heavy metals (by the example of Stary Oskol-Gubkin industrial district). *In: Materialy Vserossijskoj (s mezhdunarodnym uchastiem) nauchno-prakticheskoj konferencii molodyh uchenyh "Geoekologiya i racional'noe prirodopol'zovanie: ot nauki k praktike"* (g. Belgorod, 15–17 oktjabrja 2007 g. [Materials of all-Russian (with international participation) scientific-practical conference of young scientists "Geoecology and environmental management: from science to practice" (Belgorod, 15–17 October 2007)]. Belgorod, Iz-vo BelGU: 130–132. (in Russian)

3. Минкина Т.М., Мотузова Г.В., Назаренко О.Г. 2010. Состав соединений тяжелых металлов в почвах. Ростов-на Дону, Изд-во «Эверест», 208.

Minkina T.M., Motuzova G.V., Nazarenko O.G. 2010. *Sostav soedinenij tzhzhelyh metallov v pochvah* [The composition of heavy metal compounds in soils]. Rostov-na Donu, "Jeverest", 208. (in Russian)

4. Свиридова А.В. 2008. Совершенствование кадастровой оценки городских земель на основе учета экологических факторов. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Белгород, 23.

Sviridova A.V. 2008. *Sovershenstvovanie kadaastrovoj ocenki gorodskih zemel' na osnove ucheta jekologicheskix faktorov* [The improvement of cadastral valuation of urban land on the basis of environmental factors]. Abstract. dis. ... cand. geogr. sciences. Belgorod, 23. (in Russian)

5. Соловichenко В.Д. 2005. Плодородие и рациональное использование почв Белгородской области. Белгород, Отчий край, 292.

Solovichenko V.D. 2005. *Plodorodie i racional'noe ispol'zovanie pochv Belgorodskoj oblasti* [Fertility and rational use of soils of the Belgorod region]. Belgorod, Otchij kraj, 292. (in Russian)

6. Чепелев О.А., Боровлев А.Э. 2011. Опыт создания специализированной геоинформационной системы для решения задач обработки данных экологического мониторинга на муниципальном уровне. *Экологические системы и приборы*, (9): 52–56.

Chepelev O.A., Borovlev A.E. 2011. Experience of creation of specialized geographic information system for solving problems of data processing of environmental monitoring at the municipal level. *Jekologicheskie sistemy i pribory* [Ecological systems and devices], (9): 52–56. (in Russian)