

УДК 504.05

Индекс загрязнения и индекс напряжённости экологической ситуации в регионах Российской Федерации

© 2017. В. С. Тикунов, д. г. н., профессор, зав. центром, О. Ю. Черешня, к. г. н., н. с., Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, 119991, Россия, Москва, Ленинские горы, 1, e-mail: tikunov@geogr.msu.ru, chereshnia.o@geogr.msu.ru

В статье представлена методика интегральной оценки экологической ситуации на основе разработанных индексов загрязнения и напряжённости экологической ситуации. С помощью индекса загрязнения оценивается состояние окружающей среды в регионах на основе показателей выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, образования твёрдых бытовых отходов (ТБО) и сброса загрязнённых сточных вод. Индекс напряжённости экологической ситуации позволяет учитывать площадь, на которую приходится загрязнение, антропогенную нагрузку и экологическую ответственность населения, а также экологичность производства на основе удельных показателей, отображающих нагрузку, создаваемую выбросами в атмосферу, ТБО и сбросом загрязнённых сточных вод на территорию каждого региона, на душу населения и по отношению к природоёмкости производства. Аprobация была проведена на примере регионов России за 2014 г., и на основе полученных результатов создана серия карт. С помощью методики проведён анализ экологической ситуации, выявлены некоторые регионы, в которых оказывается непропорционально высокая нагрузка на окружающую среду. Подчеркнута важность удельных показателей, позволяющих оценивать своеобразный «экологический след» каждого человека или экономики региона.

Ключевые слова: загрязнение атмосферы, ТБО, сточные воды, экологическая ситуация, индекс загрязнения, индекс напряжённой экологической ситуации.

The pollution index and the index of the ecological tension in the regions of the Russian Federation

V. S. Tikunov, O. Yu. Chereshnia,
Lomonosov Moscow State University,
GSP-1, Leninskie Gory, Moscow, Russia, 119991,
e-mail: tikunov@geogr.msu.ru, chereshnia.o@geogr.msu.ru

The article presents a methodology for a comprehensive assessment of the environmental situation in the regions of the Russian Federation based on the pollution index and the index of ecological tension. The evaluation was carried out in two stages. At the first stage the degree of pollution of the atmosphere, hydrosphere and lithosphere of the regions was estimated on the basis of emission of pollutants into the atmosphere from stationary sources, formation of solid domestic wastes (SDW), and discharge of contaminated wastewater. Based on these three indicators, a pollution index was constructed that estimates aggregate pollution level. At the second stage the authors estimated the loads generated by atmospheric emissions, solid waste, and waste water discharged into the territory of each region, per capita and in relation to the environmental capacity of the economy. This allows us to take into account the area of pollution, anthropogenic pressure, and environmental responsibility of the population, as well as the environmental friendliness of production. On the basis of relative indicators, the index of ecological tension was created. Approbation was carried out by the example of the regions of Russia for 2014. The series of maps were created based on the obtained results. With the help of the methodology, an analysis of the environmental situation was carried out, some regions with a disproportionately high environmental load were identified. The importance of specific indicators to assess the peculiar "ecological footprint" of each person or the production of the region is underlined.

Keywords: pollution of the atmosphere, solid waste, sewage, ecological situation, pollution index, index of the ecological tension.

Ввиду коренных изменений в природе, вызванных хозяйственной деятельностью человека, интенсификацией добычи и использования природных ресурсов, особую важность приобретает разработка методик интегральной оценки состояния окружающей среды на региональном уровне. Подобные методики

позволяют оценивать происходящие процессы в совокупности, определять приоритетные направления, выявлять региональные экологические проблемы. Картографирование на основе системы чётких критериев оценки позволяет представлять данные в удобной для лиц, принимающих решения, форме, привле-

кратить внимание широкой общественности к существующим проблемам.

Довольно активно в мире предпринимаются попытки рассчитать интегральные индексы, базирующиеся на экологических параметрах. Например, агрегированный индекс «живой планеты» (ИЖП) (Living Planet Index) для оценки состояния природных экосистем планеты исчисляется в рамках ежегодного доклада Всемирного фонда дикой природы (World Wild Fund) и исследование Йельского и Колумбийского университетов по расчёту индекса экологической устойчивости (Environmental Sustainability Index) [1].

Опыт разработки подобных индикаторов имеется и в нашей стране. Однако его применение в основном ограничено отдельными регионами. Работ для межрегионального сопоставления не много. Например, эколого-экономический индекс регионов Российской Федерации (РФ), разработанный совместно WWF России и РИА-Новости [2]. Разработанный индекс учитывает экологическую устойчивость развития в широком контексте, включая экологический, экономический и социальный факторы. Экологический рейтинг регионов представлен Общероссийской общественной организацией «Зелёный патруль» [3]. В целом, в стране развивается процесс разработки методик оценки, хотя темпы этого процесса ещё явно недостаточны и проблема построения интегрального показателя экологической обстановки в настоящее время ещё не решена окончательно.

В качестве основы для такой оценки могут быть приняты *индекс загрязнения* и *индекс напряжённости экологической ситуации*. С помощью этих индексов комплексно оценивается качество воды, воздуха и литосферы регионов на основе показателей выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, образования твёрдых бытовых отходов (ТБО) и сброса загрязнённых сточных вод. Здесь необходимо отметить некоторую условность показателей загрязнения, распространяющихся при картографировании, на площадь всего региона. Естественно, при таком способе картографирования возникают условности, например, в Красноярском крае, где Норильск соседствует с одним из самых чистых районов – Эвенкией. Однако для лиц, принимающих решения на уровне субъектов РФ, именно такое представление данных оказывается предпочтительным.

Качество воды и воздуха относятся к главным экологическим факторам, влияющим на качество жизни населения. Приблизитель-

ные оценки экономических издержек, рассчитанных для России Всемирной организацией здравоохранения, показывают, что ущерб для здоровья населения от загрязнения воды и воздуха составляет в среднем не менее 4,1–6,6% от валового внутреннего продукта страны, а суммарный максимальный ущерб общественному здоровью может достигать 7% [4]. Образование ТБО является следствием жизнедеятельности человека и существенным фактором загрязнения литосферы и гидросферы, воздействия опасных веществ и возбудителей инфекций на людей. В России остро стоит проблема утилизации таких отходов.

Исходные абсолютные показатели загрязнения воздуха информативны при рассмотрении их вклада в общее загрязнение, но так как регионы России крайне неоднородны, как по населению и территории, так и по производственному потенциалу, для более глубокой оценки абсолютных показателей недостаточны. Индекс напряжённости экологической ситуации позволяет учитывать площадь, на которую приходится загрязнение, антропогенную нагрузку и экологическую ответственность населения, а также экологичность производства на основе удельных показателей, отображающих нагрузку, создаваемую выбросами в атмосферу, ТБО и сбросом загрязнённых сточных вод на территорию каждого региона, на душу населения и по отношению к природоёмкости производства. Индикатор природоёмкости производства рассчитывается, как валовые показатели загрязнения на единицу валового регионального продукта (ВРП) [5]. Он позволяет оценить интенсивность загрязнения воздушного бассейна, гидросферы и литосферы. Величина показателя напрямую зависит от степени малоотходности технологии, природоохранных мероприятий, структуры производства, используемой энергии. Снижение интенсивности загрязнения окружающей среды производственной деятельностью является одним из условий устойчивого развития.

Материал и методы исследования

Исследование проведено на основе данных Федеральной службы государственной статистики (Росстата).

Для получения индекса загрязнения исходные абсолютные показатели выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных и передвижных источников, образования ТБО и сброса загрязнённых сточных вод были агрегированы с использованием оценоч-

ного алгоритма, разработанного одним из авторов [5]. Он включает нормировку системы исходных показателей по формуле (1):

$$\hat{X}_{ij} = \frac{|x_{ij} - x_j^0|}{|x_j^{ext} - x_j^0|}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n; \quad j = 1, 2, 3, \dots, m \quad (1),$$

где \hat{X}_{ij} – нормированное значение; x_j^0 – наихудшее значение по j -му показателю из всех встречающихся с точки зрения их влияния на экологическую ситуацию в регионах России; x_j^{ext} – экстремальные (наиболее отличающиеся от x_j^0) значения показателей; n – количество исследуемых территориальных единиц; m – число показателей, использованных для расчетов ($m = 3$). Целью данной нормировки является перевод показателя в отклонение от заданного наилучшего или наихудшего значения. Полученные в результате нормировки показатели ограничены отрезком [0, 1].

Обычно при построении классических рейтингов на основе агрегированных показателей используются либо простая сумма нормированных значений, либо простое среднее (в некоторых случаях применяют взвешенную сумму или взвешенное среднее). Осредняя исходные показатели таким образом и превращая их в агрегированный индекс, мы неизбежно сводим всю информацию к некоторому средневзвешенному уровню. Это особенно искажает картину при построении экологических индексов. Для ситуации, которую можно назвать «экологическая катастрофа», вполне достаточно, чтобы всего лишь один из всего множества анализируемых показателей превысил критический уровень загрязнения. Но если все остальные показатели находятся на нормальном уровне, то построенный с использованием аддитивности комплексный индекс может оценить экологическую ситуацию как вполне стабильную.

Поэтому при синтезе индексов авторами используется метод расстояния до наихудшей единицы. Путём сравнения показателей всех территориальных единиц с условной территориальной единицей, характеризующейся наихудшими значениями по всему массиву данных, произведено их ранжирование. Оно осуществлялось с использованием евклидовых расстояний (d). Это позволяет подчеркнуть влияние отдельных координат, имеющих аномально большие значения, поскольку они возводятся в квадрат.

Полученные значения вектора-столбца d интегральных оценочных характеристик для удобства дальнейшего анализа дополнительно нормируются по формуле (2):

$$\hat{d}_i = \frac{d_i - d_i^{\min}}{d_i^{\max} - d_i^{\min}}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2),$$

где \hat{d}_i – нормированное значение d . Величина \hat{d}_i варьирует в пределах от нуля до единицы. Ноль соответствует наихудшей комплексной оценке, а единица – наилучшей.

Индекс напряжённости экологической ситуации получен с помощью того же самого оценочного алгоритма. Для учёта факторов антропогенной нагрузки, распределения загрязнения по территории и природоёмкости производства абсолютные показатели загрязнения следует соотнести с показателями населения, территории и «чистого» ВРП всех включённых в анализ территориальных единиц. Такой подход позволяет с помощью небольшого количества исходных показателей наиболее комплексно характеризовать территории и оценить напряжённость экологической ситуации. Показатель «чистого» ВРП разработан для учёта фактора пространственной дифференциации производства, обуславливающего значительные различия в характере и интенсивности антропогенного воздействия. Из общего ВРП исключены те отрасли, которые производят наибольшее количество отходов, а также выбросов веществ, загрязняющих атмосферу. Подавляющее большинство твёрдых отходов образуется в добывающей промышленности, сточных вод – при производстве и распределении электроэнергии, а выбросов в воздух – в металлургии, энергетике и при добыче горных полезных ископаемых [6].

Расчёт индекса напряжённости экологической ситуации в итоге проходит в два этапа. На первом этапе получены три подиндекса из показателей, отнесённых к населению, территории и «чистому» ВРП. На втором этапе из полученных подиндексов с помощью того же алгоритма рассчитывается интегральный индекс (рис. 1, см. цв. вкладку).

Результаты и их обсуждение

Полученные с использованием абсолютных показателей результаты показывают огромный разрыв в уровне напряжённости экологической ситуации в регионах добычи и первичной переработки ресурсов от большинства остальных регионов (рис. 2, см. цв. вкладку). Это не недостаток методики, а реальная территориальная диспропорция, характерная для России.

Наихудшее значение индекса загрязнения отмечено в Кемеровской области. Высокое зна-

Тикунов В. С., Черешня О. Ю.
«Индекс загрязнения и индекс напряжённости экологической ситуации в регионах Российской Федерации» (С. 34)

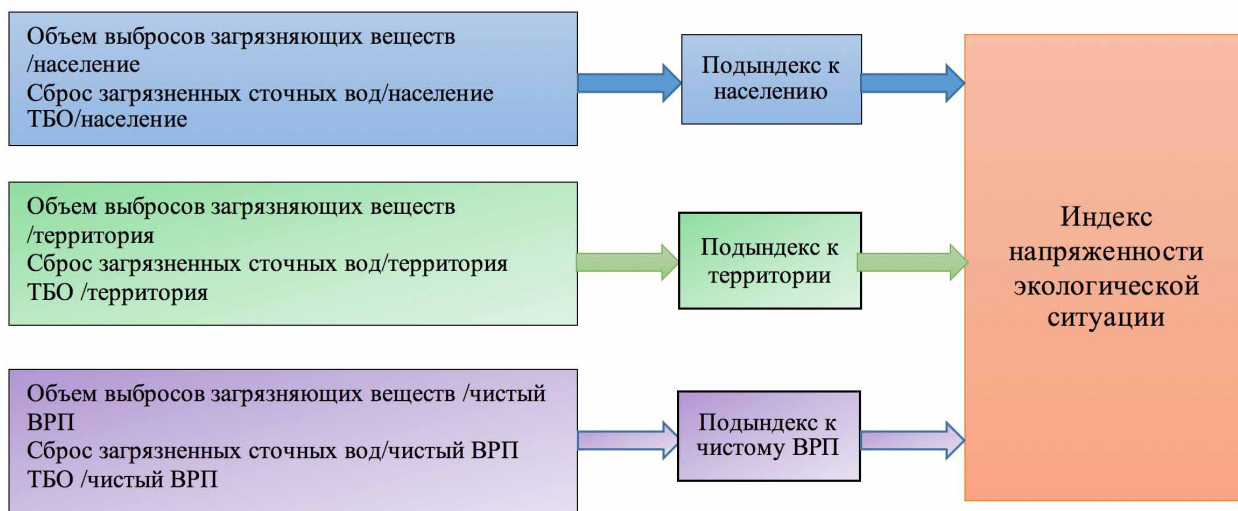


Рис. 1 Схема расчёта индекса напряжённости экологической ситуации (составлена автором)

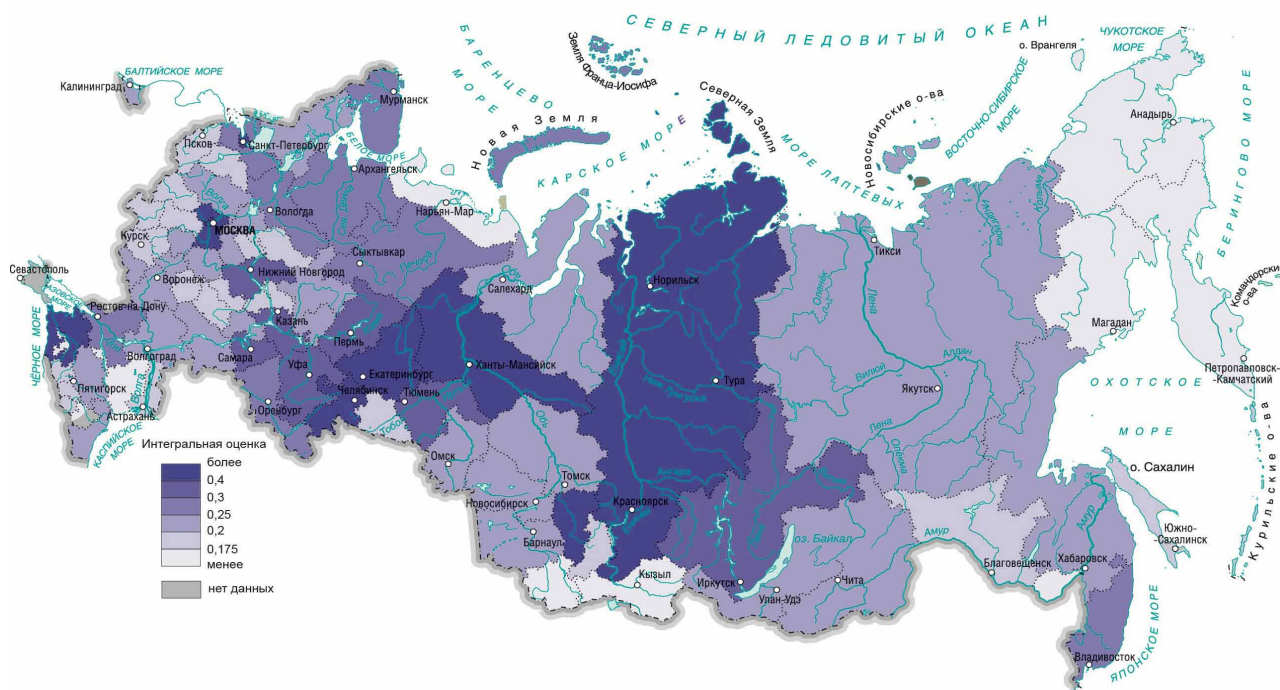


Рис. 2. Индекс загрязнения, 2014 г.

Тикунов В. С., Черешня О. Ю.
«Индекс загрязнения и индекс напряжённости экологической ситуации в регионах Российской Федерации» (С. 34)



Рис. 3. Соотношение загрязнения воздуха, воды и образования ТБО в индексе загрязнения, 2014 г.



Рис. 4. Индекс напряжённости экологической ситуации, 2014 г.

чение индекса в этом регионе обусловлено высоким уровнем загрязнения по всем трём показателям. В Кемеровской области, территория которой составляет 0,56% от площади России, образуется около 51% всех твёрдых бытовых отходов – 2 640 млн т, из них 1580 млн т размещено на объектах хранения и захоронения. Около 98% составляют отходы предприятий по добыче полезных ископаемых. В области сосредоточены предприятия угольной промышленности с наибольшим объёмом образованных твёрдых отходов в стране: ОАО «УК «Кузбассразрезголь», Прокопьевский р-н; ОАО «УК «Южный Кузбасс», г. Междуреченск; ОАО «Разрез Виноградовский», Беловский р-н; ОАО «Черниговец», г. Берёзовский. В регионе один из самых высоких показателей загрязнения воздуха (3-е место среди регионов, 1332 тыс. т) и значительный объём сброшенных загрязнённых сточных вод – 478,3 млн м³ (10-е место).

Второе место в рейтинге загрязнения занял Красноярский край. При невысоких объёмах сброса загрязнённых сточных вод, регион характеризуется высокими выбросами загрязняющих веществ в атмосферу. Доминирующую роль в структуре выбросов от стационарных источников в Красноярском крае занимают выбросы SO₂ от объектов обрабатывающих производств, которые в 2014 г. составили 1813 тыс. т [8]. ОАО «ГМК «Норильский никель», расположенный в Красноярском крае, относится к предприятиям с наибольшим объёмом выбросов от стационарных источников в стране. Регион находится на втором месте по объёму ТБО – 450 млн т. Наибольшая доля отходов края приходится на отходы предприятия ЗАО «Золотодобывающая компания «Полюс».

Самые низкие показатели загрязнения в Магаданской области, Кабардино-Балкарской Республике, Республике Адыгея, Чувашской Республике, Еврейской автономной области, Чукотском автономном округе, Республике Тыва, Республике Калмыкия, Республике Алтай и Республике Ингушетия.

Для визуализации пропорционального соотношения загрязнения атмосферы, гидросферы и литосферы в интегральном индексе построена карта по методике цветового треугольника (RGB), где каждому показателю соответствует свой цвет: ТБО – красный, сбросу загрязнённых сточных вод – синий, а выбросам загрязняющих веществ в атмосферу – зелёный (рис. 2, см. цв. вкладку). Одинаковому уровню развития по всем трём компонентам соответствует смешение равных долей этих трёх цветов – серый.

Как видно на карте, в основном в регионах преобладают либо выбросы в атмосферу, либо сброс загрязнённых сточных вод. Значительную, но не самую весомую, долю от общего загрязнения ТБО занимают лишь Кемеровская область, Республика Хакасия и Чукотский автономный округ.

Некоторые регионы, показывающие низкий уровень загрязнения по индексу загрязнения, с учётом территории, населения и чистого ВРП имеют худший результат (рис. 4, см. цв. вкладку). Например, Мурманская область, которая по индексу загрязнения находится на 14-м месте, а по индексу напряжённости экологической ситуации – на втором. В области остро стоит проблема выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, особенно сажи и SO₂. Наибольшее количество выбросов от стационарных источников в атмосферный воздух отмечается на территории районов, где расположены крупнейшие предприятия цветной металлургии, в частности ОАО «Кольская ГМК». Водные ресурсы интенсивнее всего загрязняются горнодобывающими и перерабатывающими предприятиями, в частности, ОАО «Апатит» находится среди 50 крупнейших предприятий-источников загрязнения поверхностных вод. Кроме того, область находится на 4-м месте в стране по объёму образования ТБО. Всё это, учитывая высокую концентрацию загрязнения на территории и небольшую численность населения, свидетельствует о тяжёлой экологической обстановке. Схожая ситуация наблюдается в Ненецком автономном округе и Республике Карелия. Незаселённые территории этих регионов можно было бы назвать экологически стабильными, но удельные показатели свидетельствуют о том, что в местах концентрации населения экологическая ситуация весьма напряжённая.

И, напротив, относительные показатели улучшают позиции в рейтинге для регионов с большой территорией, высокими показателями загрязнения, но достаточно локализованными, таких как, например, Красноярский край и Ханты-Мансийский автономный округ. Они по-прежнему остаются среди регионов с высокой напряжённостью экологической ситуации, но степень их загрязнения в освоенных районах теперь может быть сопоставлена с меньшими по площади регионами, такими как Мурманская область.

Улучшается положение густонаселённых регионов, таких, как Московская и Ленинградская области, в которых создаётся большая антропогенная нагрузка. Но при этом нагрузка каждого отдельного человека ниже, чем

в регионах, в которых, несмотря на низкую численность населения, масштаб загрязнения такой же из-за менее эффективной очистки сточных вод или недостаточно эффективной очистки отходящих от стационарных источников загрязняющих воздух веществ.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда (проект №15-17-30009).

Литература

1. Living planet report 2002 / Ed. L. Jonathan. World Wild Fund: Gland, 2002. 35 p.
2. Бобылев С.Н., Минаков В.С., Соловьёва С.В., Третьяков В.В. Эколого-экономический индекс регионов РФ. Методика и показатели для расчёта WWF России. М.: «РИА-Новости», 2012. 150 с.
3. Экологический рейтинг. Общероссийская общественная организация «Зелёный патруль» [Электронный ресурс] <http://greenpatrol.ru/ru/basic-page/zelenyy-patrul-istoriya-sozdaniya> (Дата обращения: 01.05.2015).
4. Россия в окружающем мире: 2003 / Под ред. Н.Н. Марфенина. М.: Изд-во МНЭПУ, 2003. 336 с.
5. Тикунов В.С. Классификации в географии: ренессанс или увядание? (Опыт формальных классификаций). Москва-Смоленск: Изд-во СГУ, 1997. 367 с.
6. Индикаторы устойчивого развития России (эколого-экономические аспекты) / Под ред. С.Н. Бобылева, П.А. Макеевко. М.: ЦПРИ, 2001. 220 с.
7. Регионы и города России: интегральная оценка экологического состояния / Под ред. Н.С. Касимова. М.: ИП М.В. Филимонов, 2014. 560 с.

8. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2010 году» [Электронный ресурс]. http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/3f1/doklad_2014.pdf (Дата обращения: 26.05.2017).

References

1. Living planet report 2002 / Ed. L. Jonathan. World Wild Fund: Gland, 2002. 35 p.
2. Bobylev S.N., Minakov V.S., Solovyov S.V., Tret'yakov V.V. Ecological and economic index of Russian regions. Methodology and indicators for the calculation of WWF Russia. Moskva: "RIA-Novosti", 2012. 150 p. (in Russian).
3. Ecological rating, Russian public organization "Green Patrol" [Internet resource]: <http://greenpatrol.En/ru/basic-page/zelenyy-patrul-istoriya-sozdaniya> (Accessed: 01.05.2015) (in Russian).
4. Russia in the World: 2003 / Ed. N.N. Marfenin. Moskva: Izd-vo MNEPU, 2003. 336 p. (in Russian).
5. Tikunov V.S. Classifications in geography: Renaissance or fading? (The experience of formal classifications). Moskva-Smolensk: Izd-vo SGU, 1997. 367 p. (in Russian).
6. Indicators of sustainable development in Russia (ecological and economic aspects) / Eds. S.N. Bobylev, P.A. Makeenko. Moskva: CPRP, 2001. 220 p. (in Russian).
7. Regions and cities of Russia: an integrated assessment of the ecological state / Ed. N.S. Kasimov. Moskva: IP Filimonov M.V., 2014. 560 p. (in Russian).
8. State report "On the state and on the protection of the environment of the Russian Federation in 2010" [Internet resource]: http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/3f1/doklad_2014.pdf (Accessed: 26.05.2017) (in Russian).

УДК 574.23

Подходы к оценке состояния городских почв методами биотестирования с использованием организмов различной систематической принадлежности и данных химического анализа

© 2017. Ю. Н. Зыкова¹, к. б. н., доцент, зав. отд. аспирантуры, С. Г. Скугорева^{1,2,3}, к. б. н., магистрант, н. с., доцент, Е. В. Товстик^{1,3,4}, к. б. н., магистрант, н. с., доцент, Т. Я. Ашихмина^{2,3}, д. т. н., профессор, зав. кафедрой, зав. лабораторией,

¹ Вятская государственная сельскохозяйственная академия, 610017, Россия, г. Киров, Октябрьский проспект, 133,

² Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, 167982, Россия, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28,

³ Вятский государственный университет, 610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, 36,

⁴ Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, 610007, Россия, г. Киров, ул. Ленина, 166 а, e-mail: orewek7@rambler.ru, skugoreva@mail.ru, tovstik2006@inbox.ru, ecolab2@gmail.com