

УДК 631.41

UDC 631.41

ПОКАЗАТЕЛИ КОМПЛЕКСНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

INDICATORS OF COMPLEX ECOLOGICAL STATE OF SOIL COVER

М. А. Ересько,

*кандидат географических наук,
доцент, заведующий отделом
РУП «БелНИЦ «Экология»»;*

Н. В. Клебанович,

*доктор сельскохозяйственных наук,
профессор, профессор кафедры
почвоведения и ГИС БГУ, профессор
кафедры географии и методики
преподавания географии Белорусского
государственного педагогического
университета имени Максима Танка*

M. Yeresko,

*PhD in Geography, Associate
Professor, Head of the Department
of BelNITs “Ecology”;*

N. Klebanovich,

*Doctor of Agriculture, Professor, Professor
of the Department of Soil Studies and
Geoinformation Systems, Belarusian State
University, Professor of the Department
of Geography and Methods of Teaching
Geography, Belarusian State Pedagogical
University named after Maxim Tank*

Поступила в редакцию 14.04.2023.

Received on 14.04.2023.

На основе анализа мирового опыта констатируется, что основными подходами к оценке качества почв являются санитарно-гигиенический и экологический. Независимо от наименования (оценка экологических рисков, экосистемный подход, скрининг, концепция критических нагрузок, здоровье почвы) комплексный показатель экологического качества опирается на ряд конкретных физических, химических и биологических параметров. Для оценки экологического состояния почвенного покрова Беларуси в первую очередь необходимо учитывать содержание гумуса, который является и агрохимическим показателем, и биологическим, характеризующим интенсивность биологического круговорота. Важным показателем является гранулометрический состав почв, который можно учитывать через долю легких почв. Переувлажнение почв может быть учтено через долю (полу)гидроморфных почв, эрозия – через количество эродированных почв. Целесообразно учитывать мощность гумусового горизонта и почвы в целом, каменистость. Из химических параметров предлагается использовать средневзвешенную величину pH и долю почв со щелочной реакцией, отражающей засоление, а также содержание подвижных соединений фосфора и калия.

Ключевые слова: почвенный покров, индекс качества почв, гумус, гранулометрический состав почв, переувлажнение почв, эродированность почв.

Based on the analysis of world experience, it is stated that the main approaches to soil quality assessment are sanitary-hygienic and ecological. Regardless of the name (ecological risk assessment, ecosystem approach, screening, critical loads concept, soil health), the complex indicator of ecological quality relies on a number of specific physical, chemical and biological parameters. To assess the ecological state of the soil cover of Belarus, first of all, it is necessary to take into account the humus content, which is both an agrochemical indicator and a biological one, characterizing the intensity of the biological cycle. An important indicator is the granulometric composition of soils, which can be taken into account through the share of light soils. Soil overwatering can be accounted for through the share of (semi-)hydromorphic soils, erosion - through the number of eroded soils. It is reasonable to take into account thickness of humus horizon and soil as a whole, stoniness. From chemical parameters it is proposed to use weighted average pH value and the share of soils with alkaline reaction, reflecting salinization, as well as the content of mobile compounds of phosphorus and potassium.

Keywords: soil cover, index of soil quality, humus, granulometric composition of soils, soil overwatering, soil erodibility.

Введение. Почва является одним из ключевых составляющих экологического каркаса и ее нормальное функционирование

подразумевает наличие оптимальных или хотя бы приемлемых параметров качества. Подходы к нормированию воздействий на

почву и качеству почв законодательно закреплены в Беларуси [1–4]. В первую очередь нормируют и ранжируют количество тяжелых металлов в почвах, причем в зависимости от гранулометрического состава, кислотности, категорий земель, в населенных пунктах – и по функциональным зонам [2–4].

Практикуют два основных подхода при оценке качества окружающей среды. В основе санитарно-гигиенического (антропоцентрического) подхода лежат интересы человека, его здоровье и комфортное состояние, критерием качества служат предельно допустимые концентрации (ПДК) или ориентировочные допустимые концентрации (ОДК) элементов и их соединений в среде. Установление ПДК (ОДК) загрязняющих веществ в почве осуществляют с использованием четырех лимитирующих показателей вредности [5, 6]: 1) транслокационный; 2) миграционный водный; 3) миграционный воздушный; 4) общесанитарный. Дифференциация с учетом функционального зонирования [6] – характерная черта нормирования для городских почв, для разных функциональных зон применяют свои оценочные показатели обоснования ПДК. Показатели для транспортных путей, селитебной (жилой) и промышленной зон могут не учитывать транслокационные и общесанитарные показатели.

В основе экосистемного подхода – благоприятное состояние экосистем, их составных частей и отдельных свойств, являющееся, в свою очередь, основой процветания человека. Нормативы качества устанавливаются эмпирически на основании изучения состояния живого организма в зависимости от доз или уровней содержания потенциальных веществ-загрязнителей. Существует оптимальный для организма диапазон содержания химического элемента в среде, выход за пределы которого в любую сторону подавляет жизнедеятельность организма.

Целью данной работы является анализ мировых подходов к комплексной оценке качества почвенного покрова и выработка предложений для определения индекса экологического качества почвенного покрова Беларуси.

Основная часть. Вопросы комплексной оценки качества почв широко обсуждаются в мировой научной литературе. Констатируется [7], что практическое при-

менение концепции ПДК сопряжено с рядом трудностей: экстраполяция нормативов ПДК на реальные природные объекты не всегда правомерна; ПДК применяют как единые нормативы для значительных территорий, поэтому они не могут учесть локальную специфику функционирования экосистем; существующие списки нормативов ПДК не содержат многих канцерогенов и мутагенов; при обосновании ПДК не учитывают разный трофический статус экосистем, многообразие форм химических компонентов, pH и другие.

В России существует комплексный классификатор, позволяющий провести оценку состояния почв по величинам санитарного числа Хлебникова и содержания органических и неорганических веществ различных классов опасностей [6].

Допустимые уровни потенциально опасного воздействия на почвы могут существенно отличаться для территорий с разным правовым статусом, поэтому во многих странах мира широко распространились подходы дифференциации нормативов содержания в почве поллютантов в зависимости от целевого назначения земельного участка [8–10].

В Австралийском Союзе вместо традиционных параметров предельно допустимых концентраций веществ в почвах используют так называемые уровни экологического вмешательства. Эти уровни устанавливаются обычно в ходе научных экспериментов по определению фитотоксичности [11].

В основе биогеохимического нормирования почв [8] лежит медико-географический подход, нуждающийся в обширном массиве данных фактических наблюдений (экспериментов) за возможным избытком или недостатком определенных химических элементов. Результаты наблюдений за состоянием живых организмов позволяют установить на основе статистических методов оптимум для каждого параметра, то есть верхние и нижние границы содержания элементов, в пределах которых состояние большинства живых организмов (животных, растений, человека) не отклоняется от нормы.

Экосистемный подход получает в настоящее время все большее распространение, он основан на гипотезе, что независимо от концентраций потенциальных загрязнителей нормальным может быть лишь такое состоя-

ние экосистем, когда они сохраняют свою целостность и замкнутость круговорота веществ [5]. В качестве показателей устойчивости экосистемы предложено использовать: баланс гумуса в почве, показатели сохранности вертикальной и горизонтальной структуры фитоценоза, продуктивности и плодородия почв.

В природоохранной практике стран Европейского союза, США и Канады в настоящее время широко распространен подход, основанный на оценке экологических рисков [12], то есть процедуре «определения вероятности негативного экологического последствия, которое может наступить в результате одного или нескольких совокупных негативных воздействий», как гласят «Рекомендации по оценке экологических рисков» [13]. Оценка экологических рисков применяют для перманентной актуализации внутреннего состояния баз данных и их оценивания, выявления и прогнозирования связей между потенциально негативным воздействием и экологическим эффектом, причем используют как индивидуальное, так и комплексное влияние химических, физических и биологических показателей.

Американские ученые отмечают важность объединения стараний почвоведов и фермеров-землепользователей [14]. Часто хозяйствующие субъекты могут на основе собственного многолетнего опыта ведения агропромышленного производства предчувствовать и прогнозировать изменения в свойствах почв, и они могут сами использовать непосредственно результаты собственного обследования в земельном менеджменте. Общей генеральной линией в практическом использовании показателей качества почв является стремление к сохранению хотя бы бездефицитного баланса основных параметров (кислотность, содержание органического вещества, плотность и прочее) [14].

Все большее развитие в современную эпоху во многих странах (США, Канада, Великобритания) получают процессы скрининга почвы (Soil Screening Levels – SSL), или, иными словами, установления «почвенных пороговых уровней» [15]. Измерение почвенных параметров и сопоставление их с пороговыми уровнями позволяет выявить территории, загрязненные поллютантами, проранжировать территорию по классам опасности для тех или иных целей, выявить

территории, слабо подверженные экологическому риску.

Также активно развивается оценка экологического состояния природных систем при помощи концепции критических нагрузок [16–18]. Критическая нагрузка – максимальный уровень поступления поллютантов в экосистему, при котором не происходит необратимых изменений в функционировании биоты, в структуре экосистемы, и при котором не изменяется продуктивность экосистемы. Приводятся [17], в частности, эмпирические критические нагрузки по азоту на экосистемы: болота верховые – 5–10, болота низинные – 10–15, леса – 10–15 и так далее. При расчете критических нагрузок учитывают буферность биосистемы к воздействию определенного поллютанта, химические связи между отдельными компонентами экосистем, хозяйственное использование территории мезо- и макроуровня, что позволяет экономически обосновать целесообразность снижения техногенных нагрузок [19].

В целом обзор литературы показывает, что в целом обзор литературы показывает, что качественному состоянию почвы уделяется огромное внимание. В мировой литературе особенно отмечаются понятия «качества почвы» и «здоровья почвы», для отражения смысла которых применяется большой набор различных показателей, сводящихся к трем основным группам: физические, химические и биологические.

В русскоязычной литературе оценка почв чаще осуществляется для более конкретных целей, например для оценки загрязнения почв. Разработан ряд сводных индексов для комплексной оценки уровня загрязнения и потенциальной экологической опасности. Сравнительно много внимания уделяется оценке качества городских почв, преимущественно в экологических целях. При оценке экологического состояния почв целесообразно шире применять методы геостатистики, переходить от оценки состояния почвы или иного компонента в конкретном месте к оценке территории в целом, что особенно актуально для территорий мезоуровня площадью 100–200 тыс. га.

Из свойств почв в Беларуси, как и в большинстве других стран, в первую очередь необходимо учитывать содержание гумуса, который является и агрохимическим показателем, и биологическим, характеризуя интенсивность биологического круговорота

(таблица 1). Важным индикатором качества почв является величина эффективного плодородия (урожайность), здоровая почва – плодородная почва. Ее логичнее брать по урожайности самой распространенной группы культур – зерновых (таблица 1).

Содержание физической глины в почве (суммарное содержание фракций средней и мелкой пыли, а также ила) характеризует текстуру (гранулометрический состав) почв, который оказывает существенное влияние на производительную способность почв. Понижает фертильность почв как низкое (песчаные и супесчаные почвы), так и высокое содержание тонкодисперсных частиц (тяжелосуглинистые и глинистые почвы). Оптимальные в текстурном отношении среднесуглинистые и легкосуглинистые почвы имеют наиболее благоприятные свойства для произрастания большинства культурных и естественных видов растений.

Наличие тяжелых почв – малоактуальный для Беларуси фактор и среди индикаторов негативных показателей почв в первую оче-

готов, особенно водопрочных, малыми величинами емкости катионного обмена, слабой обеспеченностью макро- и микроэлементами питания растений. Качество почв зависит и от климатических условий, более теплые почвы лучше снабжают растения элементами питания, усиливают фотосинтез. Засоление почвы – процесс накопления в ней легкорастворимых солей, которые оказывают токсичное влияние на культурные растения, в результате чего может происходить как снижение их продуктивности, так и полная гибель [20]. В Беларуси засоление выражено в форме окарбоначивания. Для большинства растений оптимальна слабокислая реакция среды, а избыточная щелочность почвы как следствие наличия карбонатов депрессирующим образом сказывается на росте растений и функционировании почвенных микро-организмов, поэтому наличие щелочных почв (с pH более 7,0) должно также учитываться при оценке экологического состояния территории (таблица 1).

Таблица 1 – Предлагаемые интервалы оценочных показателей свойств почв для определения индекса качества почв

Показатель	Баллы				
	5	4	3	2	1
Содержание гумуса, %	≥ 2,5	2,0–2,5	1,5–2,0	1,0–1,5	< 1,0
Урожайность зерновых, т/га	≥ 4	3,51–4,0	3,01–3,5	2,51–3,0	< 2,5
Легкий гранулометрический состав, %	< 50	51–60	61–70	71–80	≥ 80
Индекс агроклиматических условий	≥ 1,15	1,05–1,15	0,95–1,05	0,85–0,95	< 0,85
Доля почв с pH более 7,0, %	< 1	1–4	5–7	8–10	≥ 10
Переувлажненность, %	< 35	35–40	45–50	50–55	≥ 55
pH в KCl	≥ 5,90	5,81–5,90	5,71–5,80	5,61–5,70	< 5,6
Содержание подвижного фосфора, мг/кг	≥ 200	180,1–200	160,1–180	140,1–160	< 140
Содержание подвижного калия, мг/кг	≥ 300	260,1–300	230,1–260	200,1–230	< 200
Завалуненность, %	< 1	1–4	5–7	8–10	≥ 10
Эродированность, %	< 5	5,1–10,0	10,1–15,0	15,1–20,0	≥ 20
Мощность гумусового горизонта, см	≥ 35	31–35	27–30	23–26	< 23

редь надо отметить легкую текстуру (гранулометрический состав). К легким относятся песчаные и супесчаные почвы, они характеризуются высокой водо-проницаемостью, низкой влагоемкостью, следствием чего является их слабая вододерживающая способность; отсутствием или малым количеством структурных агре-

Продукционный процесс растений зависит от кислотности почв и обеспеченности подвижными формами основных макроэлементов, поэтому эти параметры должны обязательно учитываться при экологической оценке качества почвенного покрова.

Избыточное увлажнение – весьма распространенное явление в почвах Беларуси.

Избыточное увлажнение наряду с бедностью питательными элементами – главные факторы, лимитирующие пахотное использование земель Беларуси. Минеральные почвы считаются переувлажненными, если содержание в них влаги превышает наименьшую (предельную полевую) влагоемкость в течение минимум 1,5–2,0 месяца за вегетационный период. О степени переувлажнения можно судить по доле (полу)гидроморфных почв (таблица 1).

Эродированные почвы образуются при обнажении поверхности почвы вследствие механической обработки и последующего смыва или сдува, в результате чего формируются смытые и дефлированные почвы с пониженным плодородием. Каменистость (завалуненность) почв также является негативным фактором, снижающим интенсивность биологического круговорота и уменьшающим буферность таких почв по отношению к потенциальным загрязнителям (таблица 1).

В качестве дополнительного показателя целесообразно учитывать и мощность гумусового горизонта. Его увеличение благоприятствует развитию корневой системы, повышает доступность растениям элементов минерального питания, водо- и воздухопроницаемость, усиливает биологическую активность, сокращает вынос веществ в окружающую среду.

Негативные свойства почв распределены по территории неравномерно и не имеют прямой связи с зональными агроклиматическими условиями. Все рассмотренные выше свойства в той или иной степени отражаются на качестве почв и должны учитываться при комплексной оценке территории мезоуровня. В почве всегда есть заметное количество негативных свойств, поэтому их совокупное влияние на качество

почв определяется включением в комплексную оценку всех показателей, например, в виде поправочных коэффициентов. Показатели нуждаются в ранжировании, поскольку их результирующее влияние неравноценно.

Есть отдельные важные параметры качества, которые сложно учесть в форме, представленной в таблице 1, так как они имеют выраженный оптимум, выше и ниже которого свойства ухудшаются. В первую очередь это касается содержания физической глины, оптимального в интервале 20–40 %, пониженного (пессимум) в интервале 10–20 и 40–50 %, и низкого качества (минимум-максимум) при содержании физической глины менее 10 и более 50 %. Такое же положение и по показателю распаханности территории, и по подобным параметрам нужны отдельные разработки оценочных шкал.

Заключение. Все важные свойства почв для оценки их экологического качества могут быть ранжированы на группы (таблица 1). Есть показатели негативные, с увеличением значения которых оценка прогрессивно снижается, либо позитивные, с увеличением значений которых улучшаются условия роста и развития растений либо ухудшения качества почв не установлено. Все предложенные показатели (таблица 1) можно задействовать для оценки качества почв территорий мезоуровня уже сейчас. Однако существует целый ряд показателей, которые массово не определяются в Беларуси, но могут считаться перспективными на основании зарубежного опыта: наименьшая (полевая) влагоемкость, %; количество агрегатов 10–0,25 мм, %; количество водопропрочных агрегатов $\geq 0,25$ мм, %; водопроницаемость, мм/мин; удельная поверхность, $\text{м}^2/\text{г}$; дыхание почв, $\text{мкг CO}_2\text{-C}/\text{г}^* \text{ч}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гигиеническая оценка почвы населенных мест: Инструкция 2.1.7.11-12-5-2004: утв. постановлением Гл. гос. санитарного врача 03 марта 2004 г., № 32 – Минск, 2004. – С. 3–38.
2. Об утверждении Гигиенических нормативов «Предельно допустимые концентрации подвижных форм цинка, хрома, кадмия в почвах (землях) различных функциональных зон населенных пунктов, промышленности, транспорта, связи, энергетики, обороны и иного назначения»: Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь, 06 ноября 2008 г., № 187. – Минск, 2022. – С. 1.

REFERENCES

1. Gigienicheskaya ocenka pochvy naselennyh mest: Instrukciya 2.1.7.11-12-5-2004: utv. postanovleniem Gl. gos. sanitarnogo vracha 03 marta 2004 g., № 32 – Minsk, 2004. – S. 3–38.
2. Ob utverzhdenii Gigienicheskikh normativov «Predel'no dopustimye koncentracii podvizhnyh fopm cinka, hpoma, kadmiya v pochvah (zemlyah) razlichnyh funkcional'nyh zon naselennyh punktov, pproyshlennosti, transpopta, svyazi, energetiki, obo pony i inogo naznacheniya»: Postanovlenie Ministerstva zdavo-ohraneniya Respubliki Belarus', 06 noyabrya 2008 g., № 187. – Minsk, 2022. – S. 1.

3. Об утверждении гигиенических нормативов: Пост. Совета Министров Республики Беларусь, 25 января 2021 г., № 37. – Минск, 2022. – 1255 с.
4. Охрана окружающей среды и природопользование. Земли (в том числе почвы). Нормативы качества окружающей среды. Дифференцированные нормативы содержания химических веществ в почвах: ЭкоНиП 17.03.01-001-2020. – Введ. 01.01.2021. – Минск, 2020. – 20 с.
5. Мотузова, Г. В. Экологический мониторинг почв / Г. В. Мотузова, О. С. Безуглова. – М. : Академический проект, 2007. – 239 с.
6. Гармонизация гигиенических нормативов для приоритетных загрязнений почвы с международными рекомендациями / И. А. Крятов [и др.] // Гигиена и санитария. – 2015. – 94(7). – С. 42–48.
7. Левич, А. П. Теоретические и методические основы технологии регионального контроля природной среды по данным экологического мониторинга / А. П. Левич, Н. Г. Булгаков, В. Н. Максимов. – М. : НИА-Природа, 2004. – 235 с.
8. Толмачева, Н. В. Эколого-биогеохимическое зонирование территорий – необходимый этап для нормирования оптимальных уровней и соотношений микроэлементов в крови / Н. В. Толмачева, В. Л. Сусликов // Здоровье и образование в XXI веке. – 2007. – № 9(3). – С. 299–303.
9. Federal Soil Protection and Contaminated Sites Ordinance (BbodSchV) dated of 12 July 1999. p. 1554. URL: <http://www.kvvm.hu/szakmai/karmentes/egyeb/karmentnemet/BBodSchV-en.pdf>.
10. Regulations Regarding Quality Standards for Soil and Ground. Cabinet Regulation No. 804 Adopted 25 October 2005. – 6 p. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/lat190875ENG.pdf>.
11. Assessment levels for Soil, Sediment and Water, version 4, revision 1. Department of Environment and Conservation. February 2010. – 56 p.
12. Framework for Cumulative Risk Assessment. U.S. EPA – Washington: National Center for Environmental Assessment EPA/630/P-02/001F, 2003. – 129 p.
13. Guidelines for Ecological Risk Assessment. U.S. Environmental Protection Agency, Risk Assessment Forum, Washington, EPA/630/R095/002F, 1998. – 188 p.
14. Lewandowski A., Zumwinkle M., Fish A. Assessing the soil system: a Review of Soil Quality Literature. St. Paul, MN: Minnesota Department of Agriculture, Energy and Sustainable Agriculture; 1999. – 71 p.
15. Global Alliance on Health and Pollution. Summary Guidance on soil screening levels. Version 1. 2013. – 97 p.
16. de Vries W., Groenenberg J.E., Lofts S., Tipping E., Posch M. Critical loads of heavy metals for soils. In: Heavy Metals in Soils. Springer; 2013. p. 211–237.
17. Толпешта, И. И. Методологические подходы к расчету критических нагрузок на экосистемы соединений азота и серы / И. И. Толпешта. – Тула, 2014. – 128 с.
18. Pardo L. H., Robin-Abbott M. J., Fenn M. E. et al. Effects and empirical critical loads of nitrogen for ecoregions of the United States. In: Critical Loads and Dynamic Risk Assessments. Springer Netherlands; 2015. p. 129–169.
19. Башкин, В. Н. Управление экологическими рисками при эмиссии поллютантов / В. Н. Башкин, И. В. Припутина. – М. : Газпром ВНИИГАЗ, 2010. – 186 с.
20. Столбовой, В. С. Индикаторы качества почв пахотных угодий РФ / В. С. Столбовой, А. М. Гребенников // Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева. – 2020. – Вып. 104. – С. 31–67.
3. Ob utverzhenii higienicheskikh normativov: Post. Soveta Ministrov Respubliki Belarus', 25 yanvarya 2021 g., № 37. – Minsk, 2022. – 1255 s.
4. Ohrana okruzhayushchej sredy i pripodopol'zovanie. Zemli (v tom chisle pochvy). Normativy kachestva okruzhayushchej sredy. Differencipovannye normativy sodержaniya himicheskikh veshchestv v pochvah: EkoNiP 17.03.01-001-2020. – Vved. 01.01.2021. – Minsk, 2020. – 20 s.
5. Motuzova, G. V. Ekologicheskij monitoring pochv / G. V. Motuzova, O. S. Bezuglova. – M. : Akademicheskij pproekt, 2007. – 239 s.
6. Garmonizaciya higienicheskikh normativov dlya prioritetnyh zagryaznenij pochvy s mezhdunapodnymi rekomendacijami / I. A. Kryatov [i dr.] // Gigiena i sanitariya. – 2015. – 94(7). – С. 42–48.
7. Levich, A. P. Teopeticheskie i metodicheskie osnovy tekhnologii regional'nogo kontpolya pripodnoj sredy po dannym ekologicheskogo monitopinga / A. P. Levich, N. G. Bul-gakov, V. N. Maksimov. – M. : NIA-Pripoda, 2004. – 235 s.
8. Tolmacheva, N. V. Ekologo-biogeohimicheskoe zonipovanie territorij – neobhodimyj etap dlya normipovaniya optimal'nyh upovnej i sootnoshenij mikroelementov v kпови / N. V. Tolmacheva, V. L. Suslikov // Zdopov'e i obrazovanie v XXI veke. – 2007. – № 9(3). – S. 299–303.
9. Federal Soil Protection and Contaminated Sites Ordinance (BbodSchV) dated of 12 July 1999. p. 1554. URL: <http://www.kvvm.hu/szakmai/karmentes/egyeb/karmentnemet/BBodSchV-en.pdf>.
10. Regulations Regarding Quality Standards for Soil and Ground. Cabinet Regulation No. 804 Adopted 25 October 2005. – 6 p. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/lat190875ENG.pdf>.
11. Assessment levels for Soil, Sediment and Water, version 4, revision 1. Department of Environment and Conservation. February 2010. – 56 p.
12. Framework for Cumulative Risk Assessment. U.S. EPA – Washington: National Center for Environmental Assessment EPA/630/P-02/001F, 2003. – 129 p.
13. Guidelines for Ecological Risk Assessment. U.S. Environmental Protection Agency, Risk Assessment Forum, Washington, EPA/630/R095/002F, 1998. – 188 p.
14. Lewandowski A., Zumwinkle M., Fish A. Assessing the soil system: a Review of Soil Quality Literature. St. Paul, MN: Minnesota Department of Agriculture, Energy and Sustainable Agriculture; 1999. – 71 p.
15. Global Alliance on Health and Pollution. Summary Guidance on soil screening levels. Version 1. 2013. – 97 p.
16. de Vries W., Groenenberg J.E., Lofts S., Tipping E., Posch M. Critical loads of heavy metals for soils. In: Heavy Metals in Soils. Springer; 2013. p. 211–237.
17. Tolpeshta, I. I. Metodologicheskie podhody k raschetu kriticheskikh nagruzok na ekosistemy soedinenij azota i sery / I. I. Tolpeshta. – Tula, 2014. – 128 s.
18. Pardo L. H., Robin-Abbott M. J., Fenn M. E. et al. Effects and empirical critical loads of nitrogen for ecoregions of the United States. In: Critical Loads and Dynamic Risk Assessments. Springer Netherlands; 2015. p. 129–169.
19. Bashkin, V. N. Upravlenie ekologicheskimi riskami pri emissii pollyutantov / V. N. Bashkin, I. V. Priputina. – M. : Gazppom VNIIGAZ 2010. – 186 s.
20. Stolbovoj, V. S. Indikatopy kachestva pochv pahotnyh ugodij RF / V. S. Stolbovoj, A. M. Grebennikov // Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V. V. Dokuchaeva. – 2020. – Vyp. 104. – S. 31–67.