

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ «ПОЛИГОН ТКО – ЗОНА ВЛИЯНИЯ»

METHODICAL APPROACHES TO GEO- ECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE SUSTAINABILITY OF THE SYSTEM "SOLID WASTE LANDFILL – ZONE OF INFLUENCE"

И. В. Чернова,
*кандидат географических наук,
доцент кафедры географии и методики
преподавания географии Белорусского
государственного педагогического
университета имени Максима Танка*

I. Chernova,
*PhD in Geography, Associate
Professor of the Department of Geography
and Methods of Teaching Geography,
Belarusian State Pedagogical University
named after Maxim Tank*

Поступила в редакцию 24.01.23.

Received on 24.01.23.

В статье показаны основные направления исследований устойчивости геосистем, в том числе систем «полигон ТКО – зона влияния». Предложена оригинальная методика оценки геоэкологической устойчивости системы «полигон ТКО – зона влияния»: обозначены и аргументированы критерии оценки устойчивости, выделены этапы и подходы к оценке, предложены формулы для расчета устойчивости; приведены оценочные категории геоэкологической устойчивости системы «полигон ТКО – зона влияния». На примере отдельных систем Минской области проведена геоэкологическая оценка их устойчивости.

Ключевые слова: геоэкологическая оценка, система «полигон ТКО – зона влияния», твердые коммунальные отходы, коэффициент устойчивости, категория устойчивости.

The article shows the main directions of geosystems sustainability research, including systems "solid waste landfill – zone of influence". An original methodology of the geo-ecological sustainability assessment of the system "solid waste landfill – zone of influence" is suggested: the criteria of sustainability assessment are outlined and argued, the stages and approaches to assessment are singled out, formulas for sustainability calculation are offered; the assessment categories of geo-ecological sustainability of the system "solid waste landfill – zone of influence" are given. On the example of certain systems of Minsk region geo-ecological assessment of their sustainability was carried out.

Keywords: geo-ecological assessment, system "solid waste landfill – zone of influence", solid waste, sustainability ratio, sustainability category.

Введение. Усиление негативного воздействия на природные комплексы привело к необходимости проведения геоэкологической оценки последствий этого воздействия. Одной из главных составляющих геоэкологической оценки является определение устойчивости геосистем, в том числе находящихся в зоне функционирования полигонов ТКО.

Анализ литературных источников показывает, что существует много подходов к исследованию понятия «устойчивость». В эколого-географических исследованиях предлагаются понятия термина «устойчивость» (А. А. Чибилев, Б. И. Кочуров, В. А. Светлосанов, Н. Ф. Реймерс и др.), однако единого определения до настоящего времени нет [1–4].

Есть и методики по оценке устойчивости геосистем к антропогенному воздействию как в целом, так и отдельных антропогенных факторов (К. И. Лопатин, С. А. Сладкопечев, Н. М. Хаванская и др.), анализ которых показывает, что они характеризуются неоднородностью и трудоемкостью сбора и обработки показателей [5; 6].

В Беларуси проблемы пригодности территории для размещения объектов захоронения отходов с точки зрения устойчивости геологической среды исследовались А. В. Кудельским, Н. А. Лысухо, В. С. Хомичем, Т. И. Кухарчик и др. [7–9]. Методическими аспектами оценки влияния полигонов ТКО на компоненты окружающей среды (ОС)

занимались Д. М. Ерошина, В. В. Ходин, В. С. Зубрицкий (методика оценки геоэкологических рисков от полигонов ТКО) [10, с. 120–127]. И. В. Черновой предложена и апробирована адаптированная к условиям Беларуси методика оценки нагрузок полигонов ТКО и потери качества ОС [11].

Таким образом, универсальной методики для оценки устойчивости геосистем к антропогенному воздействию, в том числе к воздействию отходов, к настоящему времени нет.

Основная часть. По мнению автора, при оценке устойчивости системы «полигон ТКО – зона влияния» могут быть использованы два подхода: 1 – определение потенциальной (первичной) устойчивости системы, то есть пригодности территории для захоронения отходов с точки зрения устойчивости геологической среды и наличия и надежности средозащитной инфраструктуры; 2 – определение устойчивости, преобразованной в процессе накопления отходов системы.

Первый подход реализован посредством разработанной автором методики оценки первичной устойчивости системы «полигон ТКО – зона влияния» [12]. Важность данной методики не подлежит сомнению, так как для Беларуси весьма актуальна проблема оптимизации размещения полигонов ТКО по причине истечения срока многих действующих полигонов ТКО.

Вместе с тем по мере накопления отходов на полигонах ТКО, изменения их структуры в сторону увеличения опасных отходов, снижения надежности средозащитной инфраструктуры первичная геозекологическая устойчивость системы «полигон – ТКО зона влияния» снижается. Этот факт явился основанием для разработки оригинальной методики оценки геозекологической устойчивости системы в процессе ее эксплуатации. В основу методики положены результаты собственных исследований, анализ литературных данных, нормативные документы.

Под геозекологической устойчивостью эксплуатируемой (преобразованной) системы «полигон ТКО – зона влияния» следует понимать ее способность оставаться относительно неизменной в процессе функционирования.

Предложенная методика предназначена для проведения сравнительного анализа геозекологической устойчивости разнокачественных систем «полигон ТКО – зона влияния» в процессе их эксплуатации и должна удовлетворять следующим критериям: учет природных и антропогенных факторов, доступность информации об их значении, простота в применении.

Автором использованы общепринятые индикаторы (критерии), применяемые для оценки влияния полигонов ТКО на компоненты ОС, что обеспечивает сопоставимость получаемых результатов с результатами других исследований, в том числе зарубежных, в этой области (оценка геозекологических рисков, уровня нагрузки полигонов ТКО на ОС, потери качества окружающей среды и др.).

Среди природных факторов, влияющих на степень устойчивости системы «полигон ТКО – зона влияния», были выделены следующие:

- прочность грунтов разного генезиса и гранулометрического состава;
 - глубина залегания грунтовых вод (ГВ).
- Из числа экологических факторов учитывались:
- наличие средозащитной инфраструктуры;
 - степень антропогенной нагрузки, проявляющаяся по мере накопления ТКО;
 - доля экологоопасных отходов, захораниваемых на полигоне ТКО.

Методика сочетает в себе как балльную систему, так и первичные объективные характеристики, установленные законодательством. Балльная система хоть и имеет элементы субъективности, однако нередко применяется при оценке влияния полигонов ТКО на компоненты ОС. Предлагаемая методика основывается на определении интегральной оценки геозекологической устойчивости системы «полигон ТКО – зона влияния» по совокупности обозначенных индикаторов и осуществляется в рамках шести последовательных этапов.

Первый этап – ранжирование индикаторов по уровню значимости, определение границ индикаторов. Для этого используется метод анализа иерархий.

Второй этап – определение баллов, их распределение по оценочным критериям первичной устойчивости геологической среды и средозащитной инфраструктуры. Баллы для отдельных инди-

каторов разработаны с учетом того, что максимальная первичная устойчивость системы «полигон ТКО – зона влияния» оценивается автором в 10 баллов. Так, от 1 до 5 баллов оценивается способность грунтов противостоять загрязнению ГВ, баллы для оценки роли глубины залегания ГВ варьируют от 0,1 до 3. Наличие противодиффузионного экрана оценивается в 2 балла, системы сбора фильтрата (фильтрационного колодца) – 0,2 балла, водоотводной канавы – 0,2 балла и обвалования – 0,1 балла.

При разработке балльной оценки автором использованы дробные числа, что обусловлено спецификой предложенной методики. Применяемые для количественной оценки индикаторы разные по назначению, весовой значимости и трудно сопоставимы. Они содержат детали, которые не позволяют присвоить им целый балл. Например, роль противодиффузионного экрана, с одной стороны, и обвалования – с другой, очень разная в части защиты ГВ.

Противодиффузионные экраны на полигонах ТКО сооружаются из различных материалов и, безусловно, различаются по качеству, надежности и долговечности. В связи с этим введен поправочный коэффициент, который варьирует от 1,1 до 1,5.

Третий этап – расчет баллов. Суммируем баллы по всем индикаторам, получая интегральную оценку, характеризующую уровень первичной устойчивости системы «полигон ТКО – зона влияния». Для лучшего восприятия оценки в баллах введен коэффициент устойчивости. Для перевода балльной оценки в коэффициент устойчивости используется коэффициент 0,1.

Таким образом, для расчета коэффициента первичной устойчивости системы «полигон ТКО – зона влияния» автором предложена следующая формула:

$$K_{\text{ПУС}} = K_{\text{УГС}} + K_{\text{СЗИ}}, \quad (1)$$

где $K_{\text{ПУС}}$ – коэффициент первичной устойчивости системы;
 $K_{\text{УГС}}$ – коэффициент устойчивости геологической среды;
 $K_{\text{СЗИ}}$ – коэффициент средозащитной инфраструктуры.

Автором предложена формула для расчета коэффициента устойчивости геологической среды:

$$K_{\text{УГС}} = (\Gamma_{\text{ОП}} + \Gamma_{\text{ВГЛ}}) \times 0,1, \quad (2)$$

где $\Gamma_{\text{ОП}}$ – грунты в основании полигона ТКО (в баллах);
 $\Gamma_{\text{ВГЛ}}$ – глубина грунтовых вод (в баллах);
 0,1 – переводной коэффициент.

Для расчета коэффициента обустроенности средозащитной инфраструктурой и ее качества предложена следующая формула:

$$K_{\text{СЗИ}} = (\Pi_{\text{Э}} \times K_{\text{КПЭ}} + \Phi_{\text{К}} + \text{ВК} + \text{О}) \times 0,1, \quad (3)$$

где $\Pi_{\text{Э}}$ – противодиффузионный экран (в баллах);
 $K_{\text{КПЭ}}$ – коэффициент качества противодиффузионного экрана;
 $\Phi_{\text{К}}$ – фильтрационный колодец (в баллах);
 ВК – водоотводная канава (в баллах);
 О – обвалование (в баллах).

Четвертый этап – определение показателей, влияющих на устойчивость системы «полигон ТКО – зона влияния» в процессе ее эксплуатации. Многие исследования указывают на прослеживающуюся зависимость загрязнения ГВ, почв, атмосферного воздуха от объема накопившихся отходов и доли экологоопасных отходов [8; 10; 11]. Это обусловило выбор данных показателей при оценке геоэкологической устойчивости эксплуатируемой системы «полигон ТКО – зона влияния».

Обоснованием необходимости учета объемов накопившихся отходов является и тот факт, что данный показатель лежит в основе подсчета эмиссий биогаза. Объем накопившихся отходов и площадь полигона используются при расчете высоты полигона, от которой, в свою очередь, зависит количество образуемого фильтрата, представляющего наибольшую опасность для грунтовых вод [10].

Пятый этап – ранжирование полигонов ТКО по объему накопившихся отходов, в том числе экологоопасных. В Беларуси полигоны ТКО по объему накопившихся отходов принято делить на 4 группы: очень крупные (более 1 млн м³), крупные (от 0,5 до 1 млн м³); средние (от 0,1 до 0,5 млн м³) и мелкие (десятки тыс. м³) [10]. Соответственно этим группам автором введен поправочный коэффициент от 1,4 до 1,1.

Для учета доли захораниваемых экологоопасных отходов полигоны ТКО также дифференцированы в 4 группы, для каждой из которых используется поправочный коэффициент. Для первой группы полигонов с количеством экологоопасных отходов более 20 % поправочный коэффициент равен 1,4; для второй группы (10–20 %) – 1,3, для третьей группы (5–10 %) – 1,2; для четвертой группы (менее 5 %) – 1,1.

Анализ показал, что роль других критериев, влияющих на компоненты ОС в пределах системы «полигон ТКО – зона влияния» (площадь, способ захоронения отходов), не существенна, и при расчете геоэкологической устойчивости системы «полигон ТКО – зона влияния» они не учитывались.

Таким образом, для оценки геоэкологической устойчивости преобразованной системы «полигон ТКО – зона влияния» автором предлагается следующая формула:

$$K_{УЭС} = K_{ПУС} / (K_{ВН} \times K_{ОП}), \quad (4)$$

где $K_{УЭС}$ – коэффициент геоэкологической устойчивости эксплуатируемой системы «полигон ТКО – зона влияния»;

$K_{ПУС}$ – коэффициент первичной (потенциальной) геоэкологической устойчивости системы «полигон ТКО – зона влияния»;

$K_{ВН}$ – коэффициент объема накопления отходов;

$K_{ОП}$ – коэффициент экологоопасных отходов на полигоне ТКО.

Завершающим, шестым этапом исследования является разработка оценочных категорий устойчивости системы «полигон ТКО – зона влияния» (таблица 1).

Распределение коэффициентов по категориям устойчивости системы «полигон ТКО – зона влияния» следует осуществлять в три шага [6]:

Таблица 1 – Категории и параметры геоэкологической оценки устойчивости системы «полигон ТКО – зона влияния»

Категория устойчивости	Коэффициент устойчивости (КУЭС)
Крайне неустойчивая	менее 0,16
Неустойчивая	0,16–0,30
Слабоустойчивая	0,31–0,45
Умеренно устойчивая	0,46–0,60
Среднеустойчивая	0,61–0,75
Высокоустойчивая	более 0,75

Таблица 2 – Оценка геоэкологической устойчивости преобразованных систем «полигон ТКО – зона влияния»

Система «полигон ТКО – зона влияния»	$K_{ПУС}$	$K_{ВН}$	$K_{ОП}$	$K_{УЭС}^2$
Молодечно	0,15	1,2	1,4	0,09
Борисов	0,35	1,4	1,1	0,22
Марьина Горка	0,38	1,2	1,2	0,26
Столбцы	0,58	1,1	1,1	0,47
Жодино	0,74	1,1	1,2	0,56
Копыль	0,93	1,2	1,3	0,60
Логойск	0,91	1,2	1,1	0,69

Таблица 3 – Геоэкологическая устойчивость репрезентативных систем «полигон ТКО – зона влияния»

Система «полигон ТКО – зона влияния»	Категория первичной устойчивости системы	Система «полигон ТКО – зона влияния»	Категория устойчивости преобразованной системы
Молодечно	Крайне неустойчивая	Молодечно	Крайне неустойчивая
Борисов	Слабоустойчивая	Борисов	Неустойчивая
Марьина Горка	Слабоустойчивая	Марьина Горка	Неустойчивая
Столбцы	Умеренно устойчивая	Столбцы	Умеренно устойчивая
Жодино	Среднеустойчивая	Жодино	Умеренно устойчивая
Копыль	Высокоустойчивая	Копыль	Умеренно устойчивая
Логойск	Высокоустойчивая	Логойск	Среднеустойчивая

- самому высокому уровню присваивается максимальный коэффициент устойчивости (10 баллов = коэффициент 1);
- для низкого уровня используется максимальный показатель, деленный на количество категорий (в нашем случае 6), $1:6 = 0,16$;
- величина шага (S) представляет собой отношение разницы между коэффициентом высокоустойчивого уровня и коэффициентом крайне неустойчивого уровня, деленного на количество уровней. Таким образом, $S = (1 - 0,16) : 6 = 0,14$.

В качестве примера рассчитаем коэффициент геоэкологической устойчивости систем «полигон ТКО – зона влияния» Минской области с учетом накопления отходов, в том числе экологоопасных. В число репрезентативных вошли системы из разных категорий первичной устойчивости (таблица 2).

Полученные данные позволяют увидеть следующую закономерность: чем выше первичная устойчивость системы «полигон ТКО – зона влияния», тем менее существенно ее снижение в процессе накопления отходов. Так, коэффициент устойчивости системы г. Молодечно снизился в 1,7 раза, Борисова – 1,6; Марьиной Горки – 1,4; Жодино – 1,3; Логойска – 1,2. При этом только система Столбцы сохранила свое положение в умеренно устойчивой категории. У всех остальных систем категория устойчивости снизилась (таблица 3).

Заключение. Таким образом, предложенные методические подходы к геоэкологической оценке

устойчивости системы «полигон ТКО – зона влияния», включающие методики оценки устойчивости первичной и преобразованной систем, базируются на системно-иерархических представлениях об объектах исследования. Методики хорошо теоретически обоснованы и имеют важное прикладное значение. Методика оценки первичной устойчивости системы «полигон ТКО – зона влияния», базирующаяся на устойчивости геологической среды, может быть использована для выбора мест размещения новых полигонов ТКО. Методика геоэкологической оценки устойчивости преобразованной системы позволяет провести сравнительный анализ устойчивости разнокачественных систем, обосновывать и устанавливать максимальные нагрузки на их исходное состояние, допускающие возможность их восстановления, реализовывать цели экологического нормирования и эколого-географического прогнозирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чибелев, А. А. Введение в геоэкологию (эколого-географические аспекты природопользования / А. А. Чибелев. – Екатеринбург : УрО РАН, 1998. – 124 с.
2. Кочуров, Б. И. Геоэкология: экоддиагностика и эколого-хозяйственный баланс территории / Б. И. Кочуров. – Смоленск : СГУ, 1999. – 154 с.
3. Светлосанов, В. А. Устойчивость природных систем к природным и антропогенным воздействиям: учеб. пособие / В. А. Светлосанов. – М. – 2009. – 100 с.
4. Реймерс, Н. Ф. Природопользование. Словарь-справочник / Н. Ф. Реймерс. – М. : Мысль, 1980. – 637 с.
5. Лопатин, К. И. Проблемы геоэкологии / К. И. Лопатин, С. А. Сладкопечев. – М. : МДВ, 2008. – 260 с.
6. Хаванская, Н. М. Методические подходы к оценке устойчивости геосистем к воздействию добывающей промышленности / Н. М. Хаванская // Вестн. Волгогр. гос. ун-та. Сер. 3. Экономика. Экология. – 2011. – № 1 (18). – С. 254–257.
7. Кудельский, А. В. Районирование территории Беларуси по условиям захоронения промышленных и коммунальных отходов / А. В. Кудельский, Л. А. Лебедева // Природопользование и охрана окружающей среды: сб. ст. / ИПИПРЭ ; под общ. ред. И. И. Лиштвана. – Минск, 1998. – С. 74.
8. Лысухо, Н. А. Размещение полигонов твердых коммунальных отходов для Брестской и Гомельской областей / Н. А. Лысухо, В. С. Зубрицкий, Д. М. Ерошина // Природные ресурсы. – 2005. – № 3. – С. 102–107.
9. Хомич, В. С. Техногенные гидрогеохимические аномалии в зонах влияния полигонов твердых отходов Беларуси / В. С. Хомич, Н. В. Ковальчик, Т. И. Кухарчик // Вестник БГУ. – 2006. – № 1. – С. 34–42.
10. Ерошина, Д. М. Экологические аспекты захоронения твердых коммунальных отходов на полигонах / Д. М. Ерошина, В. В. Ходин, В. С. Зубрицкий. – Минск : БелНИЦ «Экология», 2010. – 150 с.
11. Чернова, И. В. Комплексная оценка геоэкологической нагрузки объектов отходов на окружающую среду (на примере Минской области) / И. В. Чернова, Э. В. Какарека // Современные проблемы естествознания в науке и образовательном процессе : материалы республ. науч.-практ. конф., Минск, 22 нояб. 2017 г. / Бел. гос. пед. ун-т : редкол.: И. А. Жукова [и др.]. – Минск, 2017. – С. 327–330.
12. Чернова, И. В. Геоэкологическая устойчивость систем «полигон – прилегающая территория» (На примере Минской области) / И. В. Чернова // Сахаровские чтения : материалы 18-й междунар. науч. конф., Минск, 17–18 мая 2018 г. : тез. докл. / Междунар. гос. эколог. ун-т ; редкол.: С.А. Маскевич [и др.]. – Минск, 2018. – С. 103–105.

REFERENCES

1. Chibelev, A. A. Vvedenie v geoekologiyu (ekologo-geograficheskie aspekty prirodopol'zovaniya / A. A. Chibilev. – Ekaterinburg : UrO RAN, 1998. – 124 s.
2. Kochurov, B. I. Geoekologiya: ekodiagnostika i ekologo-hozyajstvennyj balans territorii / B. I. Kochurov. – Smolensk : SGU, 1999. – 154 s.
3. Svetlosanov, V. A. Ustojchivost' prirodnyh sistem k prirodnyim i antropogennym vozdeystviyam: ucheb. posobie / V. A. Svetlosanov. – M. – 2009. – 100 s.
4. Rejmers, N. F. Prirodopol'zovanie. Slovar'-spravochnik / N. F. Rejmers. – M. : Mysl', 1980. – 637 s.
5. Lopatin, K. I. Problemy geoekologii / K. I. Lopatin, S. A. Sladkopezcev. – M. : MDV, 2008. – 260 s.
6. Havanskaya, N. M. Metodicheskie podhody k ocenke ustojchivosti geosistem k vozdeystviyu dobyvayushchej promyshlennosti / N. M. Havanskaya // Vestn. Volgogr. gos. un-ta. Ser. 3. Ekonomika. Ekologiya. – 2011. – № 1 (18). – S. 254–257.
7. Kudel'skij, A. V. Rajonirovanie territorii Belarusi po usloviyam zahoroneniya promyshlennyh i kommunal'nyh othodov / A. V. Kudel'skij, L. A. Lebedeva // Prirodopol'zovanie i ohrana okruzhayushchej sredy: sb. st. / IPIPRE ; pod obshch. red. I. I. Lishtvana. – Minsk, 1998. – S. 74.
8. Lysuho, N. A. Razmeshchenie polygonov tverdyh kommunal'nyh othodov dlya Brestskoj i Gomejskoj oblastej / N. A. Lysuho, V. S. Zubrickij, D. M. Eroshina // Prirodnye resursy. – 2005. – № 3. – S. 102–107.
9. Homich, V. S. Tekhnogennye gidrogeohimicheskie anomalii v zonah vliyaniya polygonov tverdyh othodov Belarusi / V. S. Homich, N. V. Koval'chik, T. I. Kuharchik // Vestnik BGU. – 2006. – № 1. – S. 34–42.
10. Eroshina, D. M. Ekologicheskie aspekty zahoroneniya tverdyh kommunal'nyh othodov na polygonah / D. M. Eroshina, V. V. Hodin, V. S. Zubrickij. – Minsk : BelNIC «Ekologiya», 2010. – 150 s.
11. Chernova, I. V. Kompleksnaya ocenka geoekologicheskoy nagruzki ob'ektov othodov na okruzhayushchuyu sredu (na primere Minskoj oblasti) / I. V. Chernova, E. V. Kakareka // Sovremennye problemy estestvoznaniya v nauke i obrazovatel'nom processe : materialy respubl. nauch.-prakt. konf., Minsk, 22 noyab. 2017 g. / Bel. gos. ped. un-t : redkol.: I. A. Zhukova [i dr.]. – Minsk, 2017. – S. 327–330.
12. Chernova, I. V. Geoekologicheskaya ustojchivost' sistem «poligon – prilgayushchaya territoriya» (Na primere Minskoj oblasti) / I. V. Chernova // Saharovskie chteniya : materialy 18-j mezhdunar. nauch. konf., Minsk, 17–18 maya 2018 g. : tez. dokl. / Mezhdunar. gos. ekolog. un-t ; redkol.: S. A. Maskevich [i dr.]. – Minsk, 2018. – S. 103–105.