

УДК 911.2: 502.17

**Н.Л. Борисова**, преподаватель кафедры экономической географии  
и охраны природы БГПУ

**А.И. Андрухович**, аспирант кафедры экономической географии  
и охраны природы БГПУ

## **МЕТОДЫ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ПРИРОДНО- ТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМ**

**Введение.** Современная экологическая обстановка на территории Беларуси, где сосредоточены основные промышленные и сельскохозяйственные комплексы, характеризуется значительной степенью геоэкологической дестабилизации. Как следствие, продолжает расти проблема загрязнения окружающей среды (ОС). Является одной из главных проблем страны. Наибольшее давление на ОС оказывают предприятия, в составе выбросов, сбросов и твердых отходов которых содержатся токсичные и высокотоксичные компоненты. Снижение уровня техногенного воздействия на природные геосистемы является приоритетом обеспечения экологической безопасности, а от качества оценки состояния объектов ОС зависит эффективность принятия управляющих решений и реализация политики рационального природопользования.

Основные подходы и методы исследования компонентов ОС заложены в работах Н. С. Касимова, М. А. Глазовской, А. И. Перельмана, У. Смита, И. А. Лапина, Ю. Е. Саета, Б. А. Ревича, Е. П. Янина, В.Ф. Логинова, В.Н. Киселева, А.Н. Витченко, М.Г. Ясовеева и других исследователей. Цель геоэкологической оценки территории — выявление природных и техногенных факторов экологической дестабилизации (опасности) и определение масштаба и интенсивности их проявления на конкретной территории. Для обеспечения достоверности и комплексности геоэкологической оценки конкретной

природно-техногенной системы необходимо провести зонирование оцениваемой территории по величине допустимой техногенной нагрузки на компоненты элементарных ландшафтов; определить структуру и выделить участки, характеризующихся сверхнормативной техногенной нагрузкой.

Зонирование оцениваемой территории по величине допустимой техногенной нагрузки основано на применении различных методов исследований и оценки ОС, среди них наиболее часто используются картографический, математический, геохимический и комплекс методов балльной оценки [1].

*Картографический метод* исследования объектов окружающей среды представляет собой картографическое моделирование предмета исследования и позволяет проводить анализ пространственного распределения и структуры явлений [2].

*Математические методы* позволяют создавать описания природных и техногенных явлений и процессов на основе математических моделей. Наиболее распространенными являются модели 3-х видов: математические, строящиеся без учета пространственного координирования явлений, результаты которых не подлежат картографированию; картографические без учета пространственного аспекта реализации математических алгоритмов; пространственно-математические [3]. В связи с невозможностью строгого математического описания многофакторных процессов окружающей среды для их моделирования используют математический аппарат теории вероятностей и математической статистики [4]. Принципиальное значение в системе мониторинга ОС имеют адаптивные методы моделирования, базирующиеся на анализе вновь поступающей текущей информации, позволяющей наиболее эффективно учесть временную и пространственную статистическую неоднородность характеристик ОС [5].

*Геохимический метод* — один из наиболее распространенных и перспективных методов исследования ОС, который позволяет изучать распределение, процессы миграции и концентрации химических элементов и их соединений в различных средах: природных, техногенных, природно-техногенных [6]. Ландшафтно-геохимические методы применяют на всех стадиях оценки состояния локальных и региональных природно-техногенных систем. Ландшафтно-геохимические исследования являются одним из основных методических приемов и направлены на анализ пространственной дифференциации природных, техногенных и природно-техногенных ландшафтов.

Таким образом, современная геоэкологическая оценка состояния объектов ОС реализуется через: комплексный учет совокупности природно-экологических и социально-экономических факторов объекта; региональный подход к разработке перспективных и эффективных технологий защиты ОС от загрязнения; ландшафтный подход, обеспечивающий принцип ландшафтно-территориальной дифференциации проектирования систем защиты ОС; прогнозирование с учетом перспектив развития и изменения природных условий на исследуемой территории в результате техногенного воздействия.

**Обоснование выбора метода интегральной оценки ОС.** *Методы балльной оценки состояния объектов окружающей среды.* Для интегральной оценки ОС и составление геоэкологического прогноза определяют общий, единый показатель на основе различных систем и градаций баллов. Существуют разработки оценок в виде «взвешенных баллов» [7] или шкалы обычных баллов, число которых может быть различным. В настоящее время сложились два подхода к балльной оценке: простые и комплексные шкалы.

Рассмотрим комплексную (сложную) шкалу баллов. Как правило, она представляет собой качественную классификацию непрерывно

усиливающихся или ослабляющихся явлений на несколько градаций, число которых может быть различным. Баллы задаются целыми числами или вычисляются как процент от максимального значения, и в таком случае они могут быть любым действительным числом [4]. Оценочная шкала баллов может быть равномерной и неравномерной — правила разбиения определяются целью оценки.

Наиболее часто используют трех-, пяти-, и реже шести- и десятибалльные шкалы, с помощью которых каждому из объектов присваивается значение от нуля (или от единицы) до некоторого максимального числа баллов [8].

Ниже приводится характеристика систем балльной оценки уровней загрязнения отдельных компонентов ландшафта: рельефа, почв, растительного покрова.

*Рельеф.* Реакция природной среды на тот или иной вид техногенного воздействия во многом зависит от такого компонента ландшафта, как рельеф. Даже при наличии сравнительно невысоких возвышенностей существенно изменяются микроклимат в отдельных районах и характер рассеивания загрязнителей. На пересеченной местности распространение вредных примесей носит неравномерный характер; в пониженных местах образуются застойные, плохо проветриваемые зоны с высокой концентрацией поллютантов [8]. По естественной направленности развития все элементы рельефа подразделяют на три основные области: сноса и денудации, транзита, аккумуляции.

Реакция этих категорий рельефа на техногенное воздействие различна. В случае поверхностного загрязнения в области сноса проникновение загрязнения на глубину будет ограниченным, а его площадное распространение — значительным. В условиях слаборасчлененного рельефа это распространение более равномерно, а в расчлененном — менее равномерно с ареалами временной

повышенной концентрации по руслам и тальвегам. Подобное загрязнение на площадях аккумулятивного рельефа приводит к накоплению загрязняющих веществ на поверхности и замедляет процесс очищения природной среды. Слаборасчлененные водораздельные пространства отличаются площадным рассеиванием стока, однако миграция вещества здесь протекает медленно, а способность к самоочищению ограничена. Рельеф речных долин способствует активной миграции загрязнения и концентрации его в днищах долин.

Следовательно, наименьшее накопление загрязняющих веществ будет происходить в верхних частях возвышенностей (рекомендовано присваивать 1 балл), более существенное — на склонах (2 балла), далее следуют надпойменные террасы (3 балла), поймы рек (4 балла). Наибольшим накоплением будут характеризоваться замкнутые формы, такие как котловины (5 баллов). Движение воды и растворенных соединений происходит даже при минимальных уклонах поверхности (доли градуса). Естественно, что процессы миграции растворимых загрязняющих веществ, их рассеивание и концентрация в целом активизируются с возрастанием уклонов поверхностей [1]. Перемещение твердого вещества при благоприятных условиях начинается на поверхностях с уклонами  $0,5^\circ$ — $1,5^\circ$ , но часто оно фиксируется лишь при уклонах более  $1^\circ$ — $3^\circ$ . На пологих склонах с углами наклона  $2^\circ$ — $4^\circ$  смещение материала заметно проявляется в пылеватых грунтах в условиях полной обнаженности и активного ливневого или снегового стока (плоскостной и делювиальный смыв). При больших уклонах фиксируется движение материала на луговых или залесенных склонах под влиянием переменного увлажнения и температурных колебаний — дефлюкционное смещение.

Следовательно, оценка по пятибалльной шкале может быть следующей, для уклонов поверхностей более  $6^\circ$  — 1 балл;  $4^\circ$ - $6^\circ$  — 2 балла,  $2^\circ$ - $4^\circ$  — 3 балла;  $1^\circ$ - $2^\circ$  — 4 балла, менее  $1^\circ$  — 5 баллов.

*Почвы* реагируют на техногенное воздействие в зависимости от мощности и структуры почвенных горизонтов. Большую роль в устойчивости почв и их реакции на загрязнение играет механический состав. По мере нарастания степени глинистости возрастает сопротивление механическим нагрузкам, эрозионным и дефляционным процессам, сокращается фильтрация веществ-загрязнителей в нижние почвенные горизонты, но одновременно возрастает опасность площадного распространения загрязнения [1].

- Песчаные почвы характеризуются наивысшей способностью к фильтрации и обеспечивают ландшафту способность к самоочищению (1 балл).

- Супесчаные почвы обладают некоторой сорбционной способностью, и в них может быть небольшая концентрация загрязняющих веществ (2 балла).

- Суглинистые почвы способны удерживать большее количество веществ в верхних горизонтах (3 балла).

- В глинистых отложениях наблюдается поверхностный смыв, особенно в верхних частях возвышенностей и на склонах, однако на ровных поверхностях происходит процесс аккумуляции (4 балла).

- Торфяные почвы обладают высокой сорбционной способностью (5 баллов).

В исследованиях техногенных литогеохимических аномалий установлено аккумулятивное распределение элементов-поллютантов с максимумом на поверхности органоминеральной части профиля [9]. В поверхностном горизонте и лесной подстилке суммируются два миграционных потока тяжелых металлов: горизонт опада и подстилка являются экраном-накопителем и средой трансформации аэрозольных и биогеохимических форм миграции тяжелых металлов в почвах.

Минерализация опада сопровождается возрастанием концентраций металлов в органическом материале. Формирование

гумусовых веществ сопровождается закреплением металлов, «лидируют» в этом процессе элементы, тяготеющие к высокомолекулярным соединениям. Эффективность процессов накопления и трансформации растительных остатков в отношении металлов проявляется в их концентрировании, «спрессовывании» исходных количеств, поступающих с опадом из атмосферы, в органическом веществе. Максимальная концентрация элементов-загрязнителей приурочена к верхнему горизонту почв мощностью до 10 см. Вынос металлов отстает от выщелачивания щелочных и щелочно-земельных элементов, образующих основную часть зольного остатка. Аккумуляция металлов на поверхности почвы ярко выражена только в случае сохранения растительного покрова и органических остатков, препятствующих латеральному поверхностному переотложению металлоносного материала. Исходя из вышеизложенного баллы были распределены следующим образом: содержание гумуса в баллах - до 1% — 1 балл; 1-2% — 2 балла; 2-4% — 3 балла; 4-6% — 4 балла; более 6% — 5 баллов.

*Растительный покров.* Биогенный этап формирования химического состава природных вод начинается при контакте атмосферных осадков с растительностью. Взаимодействие живых биогеохимически активных поверхностей с веществом аэрального потока ведет к трансформации твердофазной и растворенной составляющих его геохимической нагрузки. Перехват и удержание частиц зависят от размера, формы, влажности и текстуры поверхности улавливающего органа растения [10]. Растительность также выступает как активный поглотитель газовых примесей. При первом же контакте с растениями газы связываются и растворяются на внешней поверхности.

Таким образом, оценочные баллы могут быть распределены следующим образом: травянистый покров — 1 балл; широколиственные

леса — 2 балла, мелколиственные леса — 3 балла; смешанные леса — 4 балла; хвойные леса — 5 баллов.

Степень улавливания загрязнений из аэрального потока зависит и от степени покрытия территории древесной растительностью. В зависимости от лесистости территории можно распределить вероятность накопления загрязняющих веществ по пятибалльной шкале так: менее 10% — 1 балл; 10-30% — 2 балла; 31 – 60% — 3 балла. 61-80% — 4 балла; более 80% — 5 баллов.

**Анализ полученных результатов.** Таким образом, из анализа широко применяемых в геоэкологических исследованиях методов балльной оценки состояния объектов окружающей среды, подверженных техногенной нагрузке, можно сделать следующие выводы. Резкое усиление выноса вещества в автономных ландшафтах при увеличении уклонов поверхностей и наличии более мелких фракций в механическом составе почв (поверхностный смыв) является неоспоримым фактом. Растительный покров, увеличивая шероховатость подстилающей поверхности и турбулентность приземного слоя воздуха, предоставляет тем самым для осаждения частиц площадь, в несколько раз большую, чем площадь земной поверхности под ним, а видовой состав растительности определяет количество осаждаемого материала. Содержание гумуса находится в прямой зависимости от растительного покрова. Совокупность этих показателей определяет интенсивность поверхностного смыва и выноса в нижележащие горизонты.

При оценочных расчетах применяется преимущественно метод суммирования баллов, когда каждый объект оценивается по ряду признаков, а затем выводится общий балл для характеристики пригодности или опасности объекта для заданной цели. В таких случаях выбор проводят с учетом как частного, так и результирующего балла [11]. Интегральная оценка рассчитывается путем получения

простой суммы баллов. Однако балльная оценка обладает рядом недостатков: простая сумма баллов неадекватно характеризует устойчивость геосистемы, так как сумма для разных участков (например, при оценке устойчивости ландшафтов) может быть одинаковой, а устойчивость — разной, что связано с неодинаковым влиянием факторов на устойчивость. Перемножение всех баллов может давать нулевой результат в том случае, если один из них равен нулю, в то время как конкретная ситуация свидетельствует о противоположном. При использовании весовых коэффициентов их величина, как правило, назначается авторами, что предопределяет субъективность оценки. Поэтому качественное исследование и оценку состояния окружающей среды необходимо проводить с учетом комплексного подхода к выбору методов исследования, изучения местных особенностей территории, оценки устойчивости и изменчивости природных и природно-техногенных систем.

Факторы, влияющие на протекающие процессы в природно-техногенных системах, разнообразны и их взаимодействие неоднозначно. Поэтому целесообразно использовать не простую сумму баллов при оценке того или иного процесса, а сумму, включающую также произведения взаимно усиливающих факторов (каждому из них присваивается балл по пятибалльной шкале оценки). Кроме того, необходимо введение поправочного коэффициента, учитывающего климатические условия территории, биологическую активность и скорость разложения вещества. Эти показатели имеют площадной характер распространения и одинаковы для обширных районов. При разработке интегрального критерия оценки состояния объектов окружающей среды, подверженных техногенной нагрузке, предложено модифицированное уравнение балльной оценки вероятности накопления загрязняющих веществ в сопряженных средах исследуемых территорий [12]. В основу уравнения заложена сумма произведений

взаимно усиливающих факторов, объединенных в следующие группы: позиция в рельефе, уклоны поверхностей, механический состав почв; содержание гумуса, видовой состав растительности, степень покрытия территории древесной растительностью; грунты, глубина залегания грунтовых вод; геохимические барьеры; гидрохимические характеристики поверхностного стока.

**Выводы.** В итоге уравнение балльной оценки устойчивости природно-техногенных систем к техногенному воздействию может быть выражено следующим образом.

$$O_{\text{п}} = K_{\text{к}}(O_1 + O_2 * O_3 + O_4 * O_5 * O_6 + O_7 + \dots + O_n).$$

где  $O_{\text{п}}$  — прогнозная оценка устойчивости природно-техногенной системы;

$K_{\text{к}}$  — климатический коэффициент;

$O_1 \dots O_n$  — факторы, влияющие на протекание процесса;

$O_2 * O_3$  — произведение взаимно усиливающихся факторов.

При применении технологии комплексной геоэкологической оценки конкретной территории, подверженной воздействию техногенной нагрузки используются современные подходы и методы исследования объектов окружающей среды, наиболее апробированные в конкретных условиях. Комплекс методов оценки качества объектов окружающей среды, охарактеризованный выше, а также отдельно взятый метод геоэкологической оценки (например, математический, геохимический) могут использоваться при разработке следующих направлений природоохранной деятельности: составлении прогноза накопления загрязнений; обосновании создания системы инженерной защиты от негативных процессов загрязнения природной среды; проектировании сети постов мониторинга и отбора проб и т.д.

Литература:

1. Глазовская, М. А. Основные понятия геохимии ландшафтов, существенные для фонового мониторинга природной среды / М. А. Глазовская, И. С. Касимов, А. И. Перельман // Ландшафтно-

геохимические основы фонового мониторинга природной среды – Москва: Наука, 1989. – С. 8 – 25.

2. Сальников, С. Е. Принципы научно-справочного экологогеографического картографирования (на примере карт оценки состояния природной среды) / С. Е. Сальников // Вестн. Моск. гос. ун-та. Сер. 5, География. - 1993. - № 5.- С. 11—22.

3. Белой, Л. И. Антропогенное загрязнение природной среды и оценка его уровня методами математического моделирования / Л. И. Белой // Вестн. Моск. гос. ун-та. Сер. 5, География. - 1990. - № 5.- С. 16—24.

4. Арманд, Д.Л. Наука о ландшафте: основы теории и логико-математические методы / Д.Л. Арманд. – М. : Мысль, 1975. – 288 с.

5. Давыденко, А. Ю. Применение метода главных компонент для изучения закономерностей распределения загрязняющих веществ в водных системах / А. Ю. Давыденко, Е. А. Руш // Вестник ИрГТУ. -2004. - № 2(18). - С. 58-64.

6. Перельман, А.И. Геохимия / А.И. Перельман. – М. : Высшая школа, 1989. - 528 с.

7. Капотов, А.А. Ландшафтно-гидрохимический анализ территории / А.А. Капотов, В. В. Кравченко, В. И. Федоров. - Новосибирск : Наука, 1992. - 208 с.

8. Глазовская, М. А. Геохимия тяжелых металлов в природных и техногенных ландшафтах / М.А. Глазовская.– М. : Изд-во МГУ, 1983. – 196 с.

9. Экзарьян, В. И. Геоэкология и охрана окружающей среды / В. И. Экзарьян.- М. : Экология, 1997. - 176 с.

10. Сает, Ю. Е. Эколого-геохимические подходы к разработке нормативной оценки состояния городской среды / Ю. Е. Сает, Б. А. Ревич // Известия АН СССР. Сер. География. - 1988. - № 4. – С. 37-46.

11. Касимов, Н. С. Экогеохимия городских ландшафтов / Н. С. Касимов. – М. : МГУ, 1989. – 334 с.

12. Руш, Е. А. Эколого-геохимическая оценка состояния водной среды реки Ангары в зоне интенсивного промышленного освоения / Е. А. Руш// Современные методы эколого-геохимической оценки состояния и изменения окружающей среды: сб. докл. междунар. школы. Новороссийск: НИИ Геохимии биосферы, 2003. – С.137-144.

## SUMMARY

### ***Borisova W.L., Andruhovich A.I. Methodys of a geocological estimation of natural-technogenic systems***

The estimation of the basic approaches and methods of geocological research of natural-technogenic systems is given. The basic criteria of a geocological estimation of natural-technogenic systems are established: the complex approach to the account of set natural-ecological and socio-economic factors of certain object; the regional approach to working out of perspective and effective technologies of protection of environmental from pollution; the landscape approach providing a principle of territorial differentiation of designing of systems of protection by environmental. The method of a mark estimation of a condition of objects of environment through assignments of a mark estimation is offered pollution levels with reference to landscape components: to a relief, soils, to a vegetative cover, subsoil waters, geochemical barriers, superficial water objects. The grouping of systems of the indicators defining stability of natural systems is spent. The modified equation of a mark estimation of probability of accumulation of polluting substances in the interfaced environments of investigated territories is offered, by working out of integrated criterion of an estimation of a condition of objects of the environment subject to technogenic loading.

УДК 502.3; 551.15 (476)

***Борисова Н. Л., Андрухович А.М. Методы геоэкологической оценки природно-техногенных систем //Весті БДПУ. серія 3. 2013. №3. с.***

Дана оценка основных подходов и методов геоэкологического исследования природно-техногенных систем. Установлены основные критерии геоэкологической оценки природно-техногенных систем: комплексный подход; региональный подход; ландшафтный подход. Предложен метод балльной оценки состояния объектов окружающей среды через присвоения балльной оценки уровням загрязнения применительно к компонентам ландшафта: рельефу, почвам, грунтам, растительному покрову, грунтовым водам, геохимическим барьерам, поверхностным водным объектам. Проведена группировка систем показателей, определяющих устойчивость природных систем. Предложено модифицированное уравнение балльной оценки вероятности накопления загрязняющих веществ в сопряженных средах исследуемых территорий, при разработке интегрального критерия оценки состояния объектов окружающей среды, подверженных техногенной нагрузке.

Библиогр. – 12 назв.