

2. Золотокопова, С. В. Математическое моделирование рецептур новых поликомпонентных продуктов из малоценных видов рыб [Текст] / С. В. Золотокопова, О. М. Проталинский, И. С. Лучшева, Е. Ю. Лебедева // Вестник АГТУ. Сер.: Рыбное хозяйство. – 2011. – № 1. – С. 110–115.

3. Цибизова, М. Е., Кильмаев, А. А. Концепция рационального питания и проектирование функциональных продуктов из гидробионтов [Текст] / М. Е. Цибизова, А. А. Кильмаев // Вестник АГТУ. Сер.: Рыбное хозяйство. – 2013. – Т. 26. – № 3. – С. 173–178.

4. Максимов, И. В. Разработка функциональных мясных изделий с использованием комплексных добавок пребиотически-сорбционной направленности [Текст] / И. В. Максимов и др. // Молодой ученый. – 2013. – №10. – С. 251–256.

5. Хартман, К. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов [Текст] / К. Хартман, Э. Лецкий, В. Шефер. – М.: Мир, 1977. – 655 с.

6. Остапчук, Н. В. Математическое планирование процессов пищевых производств: Сб. задач: Учеб. пособие [Текст] / Н. В. Остапчук, В. Д. Каминский, Г. Н. Станкевич, В. П. Чучуй, под ред. Н. В. Остапчука. – К.: Вища школа, 1992. – 175 с.

7. Савінок, О. М. Пат. 79379 Україна, МПК 51 С 11 В 1/10 (2006.01). Спосіб одержання екстракту з виноградного насіння [Текст] / Савінок О. М., Літвінова І. О., Бурдо О. Г., Капетула С. М. – заявник і патентовласник Одеська національна академія харчових технологій. – № 201210165; заявл. 27.08.2012; опубл. 25.04.2013, Бюл. № 8.

References

1. Denisovich, Y. Y., Furrow, A. V., Mandro, N. M. (2012). Development of technology-enriched meat products functional orientation: Bulletin of the Altai State Agrarian University, 92 (6), 83–87.

2. Zolotokopova, S. V., Protalinskiy, O. M., Luchsheva, I. S. (2011). Mathematical modeling of multicomponent formulations new products from low-value fish species: Herald AS-TU. Ser.: Fisheries., 1, 110–115.

3. Tsibizova, M. E., Kilmann, A. A. (2013). The concept of a balanced diet and designing functional products of aquatic organisms: Herald ASTU. Ser.: Fisheries, 26 (3), 173–178.

4. Maksimov, I. V. (2013). Development of functional meat products with complex prebiotic supplements sorption orientation: The young scientist, 10, 251–256.

5. Hartman, K., Letsky, E., Schaefer, B. (1977). Planning for the experiment in the study of processes. Moscow.: Mir., 655.

6. Ostapchuk, N. V., Kaminsky, V. D., Stankevich, G. N., et al (1992). Mathematical planning processes of food production: Sat. tasks: Proc. Benefit. K.: High school., 175.

7. Savinok, O. M., Litvinova, I. O., Burdo, O. G., Kapetula, S. M. (2013). Pat. 79379 UA, МПК 51 С 11 В 1/10 (2006.01). Method of obsession the extract from grape seeds – applicant and patent holder Odessa national academy of food technologies. – № 201210165; appl. 27.08.2012; publ. 25.04.2013, Bull., 8.

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук, професор Станкевич Г. М.
Дата надходження рукопису 18.06.2015.*

Літвінова Інна Олександрівна, аспірант, кафедра технології м'яса, риби та морепродуктів, Одеська національна академія харчових технологій, вул. Канатна, 112, м. Одеса, Україна, 65039

E-mail: Litvinnalex@ukr.net

Станкевич Георгій Миколаєвич, доктор технічних наук, професор, кафедра технології зберігання зерна, Одеська національна академія харчових технологій, вул. Канатна, 112, м. Одеса, Україна, 65039

E-mail: georg-st@mail.ru

Савінок Оксана Миколаївна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра технології м'яса, риби та морепродуктів, Одеська національна академія харчових технологій, вул. Канатна, 112, м. Одеса, Україна, 65039

E-mail: savoksamit@mail.ru

УДК 504.054

DOI: 10.15587/2313-8416.2015.47203

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ГЕОЭКОСИСТЕМ В ЗОНАХ НАБЛЮДЕНИЯ АЭС

© А. А. Попов, В. Е. Ковач, О. В. Бляшенко, В. Е. Ковач, К. В. Сметанин

В работе представлен математический аппарат и методология исследований задач оценки устойчивости геологических и экологических систем в зонах наблюдения АЭС. Рассмотрены известные методы определения таких показателей внутренней саморегуляции геоэкоосистем, как инертность, восстанавливаемость и пластичность. Представлена принципиальная схема алгоритма получения интегрированной информации по оценке риска экологического состояния для территории и здоровья населения. Выполнен анализ составляющих оценки экологического риска

Ключевые слова: устойчивость геоэкоосистемы, отказ системы, показатели устойчивости, саморегуляция, инертность, восстанавливаемость, пластичность, экологический риск

This paper presents a mathematical apparatus and methodology of tasks research in assessing the sustainability of geological and ecological systems in the areas of NPP. The known methods for the determination of indicators of internal self-regulation geoecosystems as inertness, renewability and plasticity are considered. In the article a schematic diagram of obtaining integrated information on risk assessment for the territory of the state of environmental and human health is given. The analysis of the components of the environmental risk assessment is done

Keywords: geoecosystem stability, system failure, sustainability indicators, self-regulation, inertness, renewability, plasticity, environmental risk

1. Введение

Как любой крупный промышленный комплекс, атомная электростанция (АЭС) выступает источником повышенного риска для окружающей среды, что в первую очередь проявляется в различных видах загрязнения окружающей природной среды (ОПС) – тепловое, радиационное, химическое и биологическое загрязнение, активизируются опасные геодинамические процессы. Все эти виды техногенной нагрузки создают реальную угрозу здоровью населения и значительно ухудшают состояние окружающей среды [1]. Уменьшение уровня антропогенного воздействия радиационно-опасных объектов на ОПС и людей можно достичь качественным управлением экологической безопасностью в районе расположения данных источников техногенной нагрузки, обеспечив их стратегическую ориентацию на принципы устойчивого развития.

Одним из основных путей реализации концепции устойчивого развития общества считается внедрение на всех организационных уровнях научно обоснованной системы экологического и социально-экономического менеджмента, который бы строился на объективных данных соответствующей системы комплексного экологического и социально-экономического мониторинга, что, в свою очередь является информационным базисом концепции устойчивого развития и своего рода начальной функцией управленческого цикла [1].

Приоритетными направлениями существующей сегодня системы комплексного экологического мониторинга АЭС является развитие методов наблюдений за уровнями загрязнений (химического, радиационного, бактериологического, теплового и др.) в компонентах ОПС (атмосферном воздухе, поверхностных водах, источниках питьевой воды и т. п.). Однако, основной целью комплексного экологического мониторинга является не только количественно-качественная оценка многокомпонентного техногенного воздействия на ОПС, а главное – оценка и предвидение последствий ответной реакции элементов среды с определением уровней экологической безопасности и мер защиты населения и территорий (растительного и животного мира). Таким образом, комплексный экологический мониторинг необходимо рассматривать как одну из составляющих, которая обеспечивает общую безопасность государства и устойчивое функционирование потенциально опасных объектов [2].

2. Постановка проблемы

Одной из основных функциональных задач системы комплексного экологического мониторинга ОПС в зонах наблюдения АЭС на стадии прогнозного мониторинга является определение на основе информации первичного мониторинга настоящего и прогнозного состояния устойчивости геозкосистем региона исследований [1].

В данной работе осуществляется анализ комплекса количественных показателей устойчивости, каждый из которых характеризует отдельные формы и другие особенности состояния геозкосистем в зонах наблюдения АЭС.

3. Литературный обзор

В теоретических и прикладных геоэкологических исследованиях понятию устойчивости уделено особое внимание.

Проблему устойчивости геоэкологических систем решают в разных плоскостях. Основная проблема заключается в ее математической оценке из за сложности самого объекта изучения и неполноты статистических данных о состоянии геозкосистем.

В эколого-географических исследованиях предлагаются различные методики по определению устойчивости геозкосистем как в целом к антропогенному воздействию, так и при воздействии отдельных антропогенных факторов, однако нет единой, универсальной. Этот факт говорит о важности и в то же время сложности и проблематичности определения устойчивости.

Анализ публикаций показывает многообразие подходов и определений к оценке устойчивости экосистем противостоять потоку загрязнений. Устойчивость системы может быть оценена как ее способность противостоять пертурбациям (резистентная), так и способность возвращаться к исходному состоянию (эластичная) после снятия действия стрессового фактора. Эластичную устойчивость часто называют упругостью экосистемы. Резерв устойчивости может рассматриваться как функциональный, так и структурный, в первом случае функция не меняется с изменением структуры, во втором – система сохраняет основные виды и исчезновение отдельных видов не приводит к изменению ее основных функций [3–6].

В работе [7] предлагается в качестве оценки устойчивости экосистем ввести понятие «выносливости», под которым понимается способность биологических систем противостоять изменениям внешних условий. Это определение имеет аналогичную смысловую нагрузку как с понятием ассимиляционной емкости [8], так и принятым нами определением «устойчивости» [6, 9–11]. Понятие ассимиляционной емкости экосистемы [12] важно для экотоксикологии и характеризуется ее способностью утилизировать поток загрязнений без изменения структурно-функциональной организации, т. е. способность системы «перерабатывать» поступающие извне загрязняющие вещества. Ассимиляционная емкость определяется прежде всего процессами самоочищения среды, которые для воды, например, в свою очередь, зависят как от гидрологических и биогеохимических процессов, так и от видового изобилия и функционального многообразия системы.

3. Методы количественной оценки устойчивости геозкосистем

Устойчивость геозкосистем определяется как внутреннее свойство системы противодействовать влияниям экстремальных факторов любой природы и благодаря этому обеспечивать относительное сохранение подвижно-равновесного состояния в заданной области параметров среды, которые поддерживают жизнеспособность системы с соответствующими качественными характеристиками, а в случае выхода за критические пределы пытаться вернуться к нему под влиянием факторов ее внутренней саморегуляции [2].

Если система теряет возможность вернуться к состоянию в заданной области параметров среды, которые поддерживали ее соответствующие качественные характеристики, то такая система переходит в другое качественное состояние.

Относительное постоянство физико-химических и биологических свойств природно-техногенной системы, которое обеспечивает соблюдение ее подвижно-равновесного состояния, поддерживается регулярным обновлением основных компонентов жизнеобеспечения и постоянной функциональной саморегуляцией во всех ее цепях, определяется понятием «гомеостаза». Состояние гомеостаза присуще любым природным и природно-техногенным системам независимо от их уровня и иерархии.

Для объектов биосферы гомеостаз характеризует свойство живой системы противодействовать изменениям и поддерживать все ее свойства на соответствующем относительно постоянном уровне. При этом следует иметь в виду, что биологические объекты отличаются от неживой природы тем, что живые организмы фактически никогда не находятся в равновесном состоянии с окружающей средой. Такое равновесие наступает только после смерти биологического организма. Практически всегда выполняется условие, при котором живые организмы выполняют соответствующую работу для сохранения относительной стабильности своей внутренней среды, что является их реакцией на постоянные изменения внешних условий среды.

Поскольку устойчивость геоэкосистемы реализуется в различных формах, то хотя и можно предложить один показатель, с помощью которого можно было бы интегрировано определить состояние системы, однако такой показатель был бы недостаточно информативным. Что касается практического и теоретического значения большего эффекта можно достигать, если ввести комплекс количественных показателей устойчивости, каждый из которых характеризовал бы отдельные формы и другие особенности состояния геоэкосистем. Разработка такого комплекса показателей устойчивости основывается на понятии «отказ системы». Под ним понимают событие, заключающееся в выходе системы с заданной области состояний Z_0 . Согласно переменной, которая вышла за пределы диапазона своих нормальных или допустимых значений, выделяют различные виды отказов, например, «подтопления территории» – если уровень грунтовых вод поднялся выше критической глубины их залегания, «карстообразования» – если создаются условия для химического выщелачивания легкорастворимых пород, и тому подобное. Понятие «отказ системы» ввел в ландшафтную экологию М. Д. Гродзинский. Математический аппарат и методология исследований задач оценки устойчивости геологических и экологических систем приняты по аналогии с теорией надежности технических систем [13–16].

Исходя из этих положений, для определения понятия «устойчивость геоэкосистемы» всегда нужно конкретизировать параметры системы [15]:

– задать переменные системы, описывающие ее пространственное положение (x, y, z) и состояние в начальный момент времени t_0 ;

– определить параметры изменения состояний, в рамках которых воздействия считаются несущественными, и интервал времени Δt , для которого оценивается устойчивость;

– охарактеризовать внешние факторы влияния $f(U)$ или группы взаимодействующих факторов, влияющих на устойчивость.

К показателям внутренней саморегуляции системы относятся [14, 15]:

– инертность - способность геоэкосистем под действием внешнего фактора влияния $f(U)$ не выходить из заданной области состояний - Z_0 (определенных для системы предельно допустимых показателей в течение интервала времени Δt);

– восстанавливаемость - способность геоэкосистемы возвращаться за время Δt к области состояний Z_0 после выхода из нее под влиянием факторов $f(U)$;

– пластичность - наличие у геоэкосистем нескольких областей состояний $\{Z_1, Z_2, \dots, Z_i\}$ в пределах инварианта Z_0 и их способность переходить под влиянием фактора $f(u_i)$ с одной такой области к другим, не выходя за пределы инварианта Z_0 течение времени Δt .

Одним из показателей, характеризующих состояние устойчивости системы с учетом ее инертности, является вероятность $q_i(\Delta t)$ возникновения отказа i -го вида за время Δt . Противоположный ему показатель - вероятность невозникновения отказа $p_i(\Delta t)$ i -го вида в течение промежутка времени Δt (то есть вероятность того, что за время Δt геоэкосистема не выйдет с заданной области состояний Z_0).

Показатели инертности системы и вероятности невозникновения отказа связаны простым соотношением:

$$p_i(\Delta t) = 1 - q_i(\Delta t).$$

Инертность геоэкосистемы в некоторый момент времени Δt оценивается также показателем интенсивности отказов $\lambda(t_i)$ в момент t_i .

Интенсивность отказов означает вероятность того, что в системе возникает отказ в момент времени t_i , если до этого он не состоялся. По этому показателю определяется характер изменения инертности системы со временем, определяются периоды, когда ее устойчивость наименьшая.

Решая задачи, необходимо знать оценку среднего времени функционирования геоэкосистемы до возникновения отказа i -го вида - $T_{\text{отк}}$. С этой оценкой, в частности, связано определение безопасной продолжительности определенного антропогенного воздействия и периодичности проведения профилактических мероприятий.

Эти показатели рассчитываются для всех видов отказов геоэкосистемы. Обобщенными показателями инертности могут быть вероятность безотказного функционирования $p(Z_0, \Delta t)$ в течение Δt , а

также вероятность возникновения за время Δt по крайней мере одного отказа любого вида $q(Z_0, \Delta t)$. Если предположить наличие статистической независимости отказов различных видов, то значения этих показателей рассчитывается по такой формуле:

$$p(Z_0, \Delta t) = 1 - q(Z_0, \Delta t) = \prod_{pi} (Z_0, \Delta t),$$

где Π – знак произведения.

Важным показателем восстанавливаемости геоэкосистемы есть [15]:

– вероятность восстановления системы $P_{\text{восст } i}(Z_0, t)$ за время Δt после отказа i -го вида;

– интенсивность восстановления $\mu_j(Z_0, t_i)$ на момент времени t_i ;

– среднее время $T_{\text{отк } i}$ восстановления геоэко-системы после отказа i -го вида.

Инертность и восстанавливаемость характеризует устойчивость системы относительно некоторой одной ее области состояний Z_0 . Такую устойчивость определяют по формуле:

$$p_i(Z_0, \Delta t) = 1 - q(Z_0, \Delta t) + p(Z_0, \Delta t) \cdot q(Z_0, \Delta t),$$

где $p_i(Z_0, \Delta t)$ – вероятность нахождения и возвращения геоэкосистемы в область состояний Z_0 в течение времени Δt .

Пластичность системы можно оценить вероятностью того, что в течение времени Δt геоэкосистема будет осуществлять переходы только между областями состояний $\{Z_1, Z_2, \dots, Z_i\}$, принадлежащих к одному инварианту $\{Z_0\}$. Эмпирических данных в этом отношении может оказаться недостаточно. Поэтому реально пластичность можно оценить только по данным анализа графа переходов системы к различным областям ее состояний без учета вероятностей этих переходов. Этот показатель можно определить по выражению:

$$P_{pi}(\Delta t) = \frac{1}{m(\Delta t)} \sum_{i \in \{Z_0\}}^n m_{iz}(\Delta t),$$

где $P_{pi}(\Delta t)$ – вероятность пластичности; $m(\Delta t)$ – количество переходов между областями состояний за время Δt ; n – количество областей нормальных состояний геоэкосистемы; $m_{iz}(\Delta t)$ – количество переходов с i -ой области состояний, принадлежащих инварианту Z_0 геоэкосистемы.

В общем случае пластичность тем выше, чем больше в ней областей состояний $\{Z_i\}$ и чем равновероятны переходы между ними. Учитывая это как среднестатистическую оценку пластичности можно использовать теоретико-информационные характеристики (энтропию системы).

Энтропия – это показатель неупорядоченности системы, который определяется термодинамической функцией ее состояния. Согласно второму закону

термодинамики все процессы имеют тенденцию к увеличению общей энтропии системы. Такая тенденция сохраняется до тех пор, пока не наступает состояние равновесия, при котором энтропия имеет максимальное значение.

Важным для понимания устойчивости геоэко-систем и их пластичности есть правило, которое исходит из этого закона, – все процессы, сопровождающиеся увеличением энтропии, не могут произвольно изменить направление и после наступления состояния равновесия вернуться в исходное состояние, так как это требовало бы уменьшения энтропии (то есть нужна была бы дополнительная энергия для выполнения определенной работы). Такие процессы называются необратимыми, а процессы, происходящие без изменений энтропии, – обратимыми [2, 15].

Основные показатели инертности и восстанавливаемости геоэкосистемы можно вычислить с помощью классических методов математической статистики по частоте возникновения отказов и возобновлений или времени возникновения отказов, определенного с помощью закона распределения. Расчетные формулы этих методов приведены в табл. 1. Преимуществом этих методов является простота расчетов, а основной недостаток – неопределенность в некоторых случаях по отношению к закону распределения случайной величины t_i или τ_i . По этим данным можно лишь выяснить, увеличивается или уменьшается устойчивость геоэко-системы со временем. Однако этой информации достаточно для вычисления верхних и нижних предельных оценок инертности и восстанавливаемости, то есть некоторого диапазона, в котором содержатся оценки $p(Z_i, \Delta t)$ или $q(Z_i, \Delta t)$ [2, 14–16].

Инертность геоэкосистемы со временем преимущественно уменьшается (чем больше интервал времени Δt , тем больше вероятность отказа). Это объясняется постоянным или периодическим действием антропогенных факторов, действием пуассоновского потока случайных воздействий и т. д. Для указанного случая предельные оценки вероятности безотказного функционирования системы вычисляются по формулам [13, 15]:

– нижняя оценка

$$\underline{p}(Z_0, \Delta t) = \begin{cases} \exp\left\{-\frac{\Delta t}{T_{\text{вдлм}}}\right\} & \text{при } 0 \leq \Delta t \leq T_{\text{отк}}; \\ 0 & \text{при } \Delta t \geq T_{\text{отк}}. \end{cases}$$

– верхняя оценка

$$\overline{p}(Z_0, \Delta t) = \begin{cases} \exp\{\omega \Delta t\} & \text{при } 0 \leq \Delta t \leq T_{\text{отк}}; \\ 0 & \text{при } \Delta t > T_{\text{отк}}, \end{cases}$$

где ω – параметр, который зависит от Δt , значения которого приведены в справочниках по математической статистике и теории надежности.

Таблица 1

Формулы расчета показателей инертности геоэкосистем

Показатель инертности	Расчетные формулы	
	По частоте события	По закону распределения случайной величины t_i
Вероятность отказа за время $\Delta t - q(\Delta t)$	$\frac{n(\Delta t)}{N(\tau_0)}$	Н.Р.: $1 - \Phi\left(\frac{t_i - t}{\sigma_i}\right)$ Э.Р.: $1 - \exp\{-\lambda \Delta t\} \approx \lambda \Delta t$
Вероятность безотказного функционирования за время $\Delta t - p(\Delta t)$	$\frac{N(t_0) - n(\Delta t)}{N(\tau_0)}$	Н.Р.: $\Phi\left(\frac{t_i - t}{\sigma_i}\right)$ Э.Р.: $\exp\{-\lambda \Delta t\} \approx 1 - \lambda \Delta t$
Интенсивность отказов в момент времени $t_i - \lambda(t_i)$	$\frac{N(t_i) - N(t_{i+1})}{N(t_i)(t_{i+1} - t_i)}$	Н.Р.: $\frac{1}{\sigma_i p(t_i)} f\left(\frac{t_i - t}{\sigma_i}\right)$ Э.Р.: $\lambda(t_i) = \lambda = \text{const}$
Среднее время функционирования геоэкосистемы до первого отказа - $T_{\text{отк}}$	$\frac{\sum_i^n t_i}{N}$	Н.Р.: $T_{\text{отк}} = t$ Э.Р.: $\frac{1}{\lambda}$

Примечание: $n(\Delta t)$ – количество геоэкосистем, у которых возникли отказы за время Δt ; $N(t_0), N(t_i), N(t_{i+1})$ – количество геоэкосистем, которые не имели отказов соответственно на начальный момент времени t_0 и в моменты t_i та t_{i+1} ; t_i – момент возникновения i -го отказа; Φ – функция нормального распределения; f – функция плотности нормального распределения; Н.Р. – расчетные формулы при нормальном законе распределения t_i ; Э.Р. – то же самое при экспоненциальном распределении

К достоинствам метода предельного оценивания устойчивости принадлежит простота расчетов и минимум необходимой информации. При этом стоит отметить, что интервалы между верхней и нижней предельными оценкам могут оказаться очень широкими. Однако, несмотря на это, метод является весьма полезным при оценке устойчивости геоэкосистемы к антропогенным воздействиям, особенно тогда, когда есть сложности в получении эмпирических данных.

В практике оценивания устойчивости часто применяют модель, отвечающую известной схеме «нагрузка-сопротивление». Его суть заключается в следующем: нагрузка (P) пытается разрушить систему, сопротивление (L) – противодействует этой нагрузке. Действие нагрузки на геоэкосистему и ее сопротивление описываются характеристиками, которые являются случайными величинами с собственными функциями распределения. Если эти функции установлено, то можно определить вероятность того, что при всех колебаниях нагрузок и сопротивлений $P > L$, тогда наступает отказ геоэкосистемы. В реальных геоэкосистемах характеристика P довольно часто имеет экспоненциальное распределение, а характеристика сопротивления L – нормальный. В этом случае вероятность отказа q вычисляется по формуле [2, 14]:

$$q = \exp\left\{-\frac{L}{P}\right\} = \frac{\sigma_L^2}{2P^2}.$$

Для других законов распределения нагрузок и сопротивлений в геоэкосистеме можно применять

другие соответствующие формулы. Например, вероятность распределения концентраций в зонах влияния многих техногенных источников от большинства загрязняющих веществ можно с достаточной степенью приближения описать логнормальным распределением. Для оценки распределения загрязнений в воздухе более точные результаты можно получить, применяя двухпараметрические вероятностные распределения, а именно [2]:

1. Асимптотическое распределение минимальных значений (получено по распределению, который имеет ограничение слева), известное как распределение Вейбула:

$$F_x = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{\beta}\right)^k\right], \quad x \geq 0, \beta > 0, k > 0,$$

де x – концентрация загрязняющего вещества.

Логарифмическое преобразование функции распределения Вейбула дает функцию распределения минимальных значений:

$$F_x = 1 - \exp\left[-\exp\left(\frac{y - \mu}{\delta}\right)\right],$$

$$\left(-\infty < y < +\infty, \mu = \ln \beta, \delta = \frac{1}{k}\right),$$

где β – параметр масштаба; k – параметр формы.

Логарифмическое преобразование функции распределения Вейбула при использовании нормированной переменной выглядит так:

$$F_u = 1 - \exp\left[-\exp(u)\right].$$

2. Асимптотическое распределение максимальных значений (получено по распределению типа Парето или Коши), которое называется «распределение возрастающих значений». Его функция имеет вид:

$$F_x = \exp \left[- \left(\frac{\beta}{x} \right)^k \right], \quad x \geq 0, \quad \beta > 0, \quad k > 0,$$

де x – концентрация загрязняющего вещества; k – параметр формы, который начиная с k -го момента становится бесконечно большим; β – параметр масштаба.

Плотность распределения описывается выражением:

$$F_x = \frac{k}{\beta} \left(\frac{\beta}{x} \right)^{k+1} \exp \left[- \left(\frac{\beta}{x} \right)^k \right].$$

При логарифмическом преобразовании функции распределения возрастающих значений $y = \ln x$ имеем:

$$F_y = \exp \left[- \exp \left(\frac{y - \mu}{\delta} \right) \right],$$

$$\left(-\infty < y < +\infty, \quad \mu = \ln \beta, \quad \delta = \frac{1}{k} \right).$$

Эта функция при применении нормированной переменной имеет вид:

$$F_u = \exp \left[- \exp(u) \right].$$

Как для функции распределения Вейбула, так и для функции распределения максимальных значений нормированная переменная имеет вид:

$$U = \frac{y - \mu}{\delta},$$

де μ – параметр положения (смещение); δ – параметр масштаба.

Кроме рассмотренных, для оценки устойчивости геозкосистем можно пользоваться другими методами: логико-информационное моделирование, оценивание по деревьям отказов, оценка рисков, статистическое моделирование на ЭВМ [2, 17].

Если под риском понимать вероятность возникновения в геозкосистеме нежелательных изменений, особенно связанных с угрозой для здоровья человека, то в этом смысле это понятие совпадает с понятием отказа геозкосистемы [14, 16].

При таком подходе все методы определения вероятности возникновения отказа фактически являются одновременно и методами оценки риска. Как отдельные составляющие понятия «экологические риски», приводящие к нарушениям устойчивости экосистемы (отказ возвращения системы в первоначальное состояние), можно рассматривать следующие факторы [18]:

- резкое токсическое загрязнение геозкосистемы и ее отдельных сред;
- вымирания отдельных видов животных, растений;
- деградация почвы;
- стихийные бедствия и тому подобное.

Шире определение понятия экологического риска предполагает не только определение возможности (вероятности) его возникновения, но и оценку потерь, которые могут быть с ним связаны. Действительно, различные виды процессов, приводящих к отказу системы, могут иметь одинаковые вероятности возникновения, однако они различаются степенью изменения структуры геозкосистемы и экономическими последствиями, которые возникают вследствие отказов.

Охарактеризованные понятия «экологический риск» и «отказ геозкосистемы» в контексте обработки мониторинговых наблюдений и интерпретации авторов по определению состояния геозкосистемы в схематизированном виде представлены на рис. 1. В приведенной схеме интервал, который соответствует условию «экстремальная экологическая ситуация», характеризует состояние системы, при котором наступают отказы [17, 19].

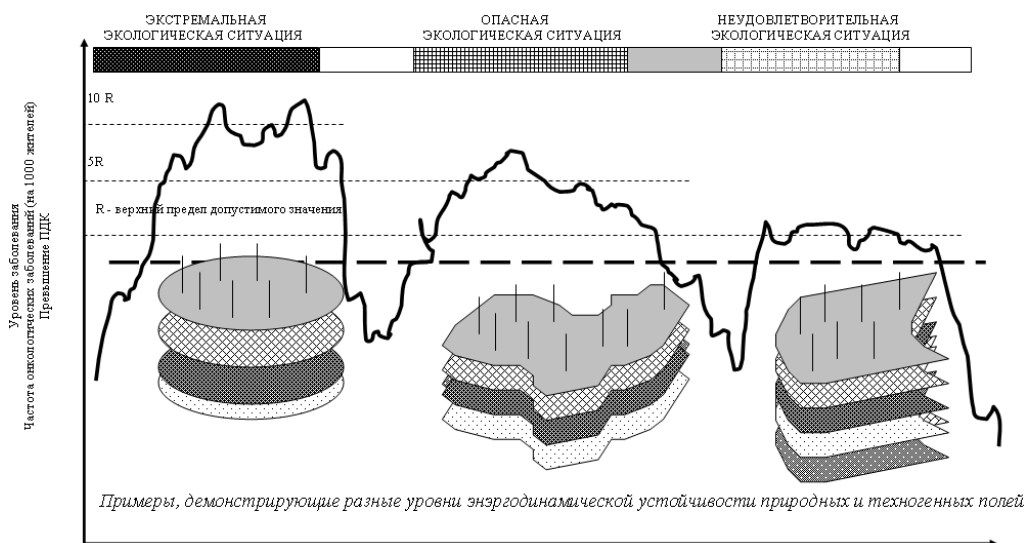


Рис. 1. Принципиальная схема алгоритма получения интегрированной информации по оценке риска экологического состояния для территории и здоровья населения

Оценка экологического риска, кроме определения вероятности события, которое считается рискованным (т. е. вероятности отказа геосистемы), предусматривает еще четыре составляющие [16, 18–20]:

- природно-ландшафтную (как степень изменчивости геосистемы вследствие отказа);
- социоэкономическую (как размер экономических потерь, вызванных отказом);
- антропоцентрическую (как уровень угрозы здоровью и самочувствию человека);
- эстетическую (как потерю эстетической привлекательности ландшафта).

Все эти составляющие можно оценить в баллах экспертным путем. Однако в общей теории оценки риска установлено, что в отношении восприятия степени различных видов опасности эксперты имеют субъективные оценки, и поэтому экспертный метод в этом случае дает лишь приближенный результат. Методология анализа рисков также предусматривает применение методов математического моделирования. Природно-ландшафтную составляющую риска можно оценить по значению дистанционного коэффициента между состоянием геосистемы до отказа и после него. Самым простым показателем такого типа является:

$$D_j = \sum_{i=1}^n \alpha_i \left[\frac{x_i - x_{\text{отк}ij}}{x_i + x_{\text{отк}ij}} \right]^2,$$

где D_j – степень изменчивости геосистемы вследствие отказа j -го вида; n – количество признаков, которыми характеризуется система; α_i – «вес» j -го признака (коэффициент ее существенности); x_i – значение i -го признака системы до ее отказа; $x_{\text{отк}ij}$ – то же самое после отказа j -го вида.

Социоэкономическая составляющая экологического риска позволяет получить оценку в виде:

- стоимости той части полезного продукта, которая теряется вследствие отказа геосистемы (например, для зон наблюдения АЭС – стоимость урожая, недополученного в результате аварийного радиационного загрязнения территории);
- стоимости мероприятий, которые нужно принять, чтобы восстановить исходное состояние геосистемы после отказа;
- доли природных ресурсов, которые теряются при отказе системы.

4. Результаты исследования

Проведенное исследование показало, что на сегодняшний день в научной литературе из-за сложности объекта изучения и неполноты статистических данных о состоянии геосистем существуют различные методы для количественного определения их устойчивости в зонах влияния техногенных объектов, что говорит о важности и в то же время сложности данной проблемы.

Устойчивость геосистемы реализуется в различных формах и, поэтому, использование одного интегрального показателя для определения состояния системы является недостаточно информативным.

Поэтому, для решения теоретических и практических задач необходимо использовать комплекс количественных показателей устойчивости, каждый из которых характеризовал бы отдельные формы и другие особенности состояния геосистем.

Построение такого комплекса показателей основывается на использовании математического аппарата теории надежности технических систем, одним из базовых понятий которой является «отказ системы». Исходя из этого, основными количественными показателями устойчивости геосистем принято считать инертность, восстанавливаемость и пластичность. В свою очередь, каждая из этих характеристик имеет свой набор показателей.

Так, инертность можно охарактеризовать такими показателями, как: вероятность возникновения отказа i -го вида за время Δt ; вероятность невозникновения отказа i -го вида в течение времени Δt ; интенсивность отказов в момент t_i ; среднее время функционирования геосистемы до возникновения отказа i -го вида, вероятность безотказного функционирования в течение времени Δt , вероятность возникновения за время Δt по крайней мере одного отказа любого вида, вероятность безотказного функционирования в течение времени Δt , вероятность возникновения за время Δt по крайней мере одного отказа любого вида.

Основными показателями восстанавливаемости геосистемы есть: вероятность восстановления системы за время Δt после отказа i -го вида; интенсивность восстановления на момент времени t_i ; среднее время восстановления геосистемы после отказа i -го вида, вероятность нахождения и возвращения геосистемы в область состояний Z_0 в течение времени Δt .

Пластичность оценивается вероятностью того, что в течение времени Δt геосистема будет осуществлять переходы только между областями состояний, принадлежащих к одному инварианту.

Для вычисления показателей устойчивости всегда нужно конкретизировать параметры объекта исследования – геосистемы, а именно:

- задать переменные системы, описывающие ее пространственное положение и состояние в начальный момент времени;
- определить параметры изменения состояний, в рамках которых воздействия считаются несущественными, и интервал времени, для которого оценивается устойчивость;
- охарактеризовать внешние факторы влияния или группы взаимодействующих факторов, влияющих на устойчивость.

Вышеперечисленные количественные показатели устойчивости геосистем в зонах влияния техногенных объектов можно вычислить с помощью классических методов математической статистики по частоте возникновения отказов и восстановлений или времени возникновения отказов, определенного с помощью закона распределения, а также с помощью использования логико-информационного моделирования, оценивания по деревьям отказов, оценки рисков, статистического моделирования на ЭВМ.

5. Выводы

Устойчивость в геоэко системах реализуется в различных формах. Поэтому использование одного интегрированного показателя для определения состояния системы не является достаточно информативным. В статье выполнен анализ комплекса количественных показателей устойчивости, каждый из которых характеризует отдельные формы и другие особенности состояния геоэко систем региона исследований.

Литература

1. Попов, О. О. Підходи до організації та ведення комплексного радіоекологічного моніторингу наземних екосистем у районах розташування АЕС [Текст] / О. О. Попов // Збірник наукових праць ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. - 2013. - Вип. 68. - С. 11-18.

2. Яцишин, А. В. Методи вимірювання параметрів навколишнього природного середовища [Текст] / А. В. Яцишин, О. О. Попов, В. О. Артемчук // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. - 2014. - №40(1083) - С. 130-137.

3. Allesina, S. Stability criteria for complex ecosystems [Text] / S. Allesina, S. Tang // Nature. - 2012. - Vol. 483, Issue 7388. - P. 205-208. doi: 10.1038/nature10832

4. Fowler, M. S. Species dynamics alter community diversity-biomass stability relationships [Text] / M. S. Fowler, J. Laakso, V. Kaitala, L. Ruokolainen, E. Ranta // Ecology Letters. - 2013. - Vol. 15, Issue 12. - P. 1387-1396. doi: 10.1111/j.1461-0248.2012.01862.x

5. Костишин, С. С. Інноваційні технології оцінки стійкості видів та екосистем [Текст] / С. С. Костишин, С. С. Руденко // Екологічні науки. - № 1. - 2012. - С. 91-102.

6. Коломыц, Э. Г. Устойчивость лесных экосистем, методы ее исчисления и картографирования [Текст] / Э. Г. Коломыц, Л. С. Шарая // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2014. - Т. 16, № 1-1. - С. 93-107.

7. Хаванская, Н. М. Методические подходы к оценке устойчивости геосистем к воздействию добывающей промышленности [Текст] / Н. М. Хаванская // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3: Экономика. Экология. - 2011. - Т. 3, № 1 - С. 254-257.

8. Michel, L. Biodiversity and ecosystem stability: a synthesis of underlying mechanisms [Text] / L. Michel, M. Claire // Ecology Letters. - 2013. - № 16. - P. 106-115. doi: 10.1111/ele.12073

9. Моисеенко, Т. И. Механизмы устойчивости и изменчивости экосистем в условиях их загрязнения [Текст] / Т. И. Моисеенко, С. Н. Гашев // Вестник Тюменского государственного университета. - 2011. - № 12. - С. 17-27.

10. Баданова, У. А. Использование систем компьютерной обработки пространственной информации – основа оценки устойчивости экосистем урбанизированных территорий [Текст] / У. А. Баданова, О. А. Савватеева // Успехи современного естествознания. - 2014. - № 8. - С. 87-88

11. Автономов, А. Н. К вопросу устойчивости склоновых экологических систем экзогенного типа [Текст] / А. Н. Автономов // Фундаментальные исследования. - 2014. - № 9-10. - С. 2181-2185.

12. Марова, С. Ф. Аналіз методичних підходів до оцінювання стійкості еколого-економічних систем [Текст] / С. Ф. Марова, Ю. В. Бурих // Теоретичні і практичні аспекти економіки та інтелектуальної власності. - 2014. - Вип. 1(1). - С. 370-376.

13. Безопасность и надежность технических систем [Текст] : учеб, пособие / Л. Н. Александровская, И. З. Аронов, В. И. Круглов и др. - М. : Университетская книга, Логос, 2008. - 376 с.

14. Ветошкин, А. Г. Надежность технических систем и техногенный риск [Текст] : учеб, пособие / А. Г. Ветошкин. - Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2003. - 155 с.

15. Семенов, А. А. Основы теории надёжности [Текст]: навч, посібник / А. А. Семенов, В. Г. Мелкумян. - К. : КМУЦА, 1998. - 84 с.

16. Хенли, Э. Дж. Надежность технических систем и оценка риска [Текст] / Э. Дж. Хенли, Х. Кумамото. - М. : Машиностроение, 1984. - 528 с.

17. Лисиченко, Г. В. Природний, техногенний та екологічний ризики: аналіз, оцінка, управління [Текст] / Г. В. Лисиченко, Ю. Л. Забулонов, Г. А. Хміль. - К. : Наук. думка, 2008. - 542 с.

18. Попов, О. О. Методи аналізу ризиків в екології [Текст] / О. О. Попов // Збірник наукових праць ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. - 2013. - Вип. 69. - С. 19-28.

19. Лисиченко, Г. В. Методологія оцінювання екологічних ризиків [Текст] / Г. В. Лисиченко, Г. А. Хміль, С. В. Барбашев. - Одеса : Астропринт, 2011. - 368 с.

20. Яцишин, А. В. Методы и технологии анализа рисков для здоровья на основе данных мониторинга [Текст] / А. В. Яцишин, И. П. Каменева, О. О. Попов, В. О. Артемчук // Материалы IV Международной научно-технической конференции «МОДЕЛИРОВАНИЕ-2012», 16–18 мая 2012 г. – К, 2012. – 473 с.

References

1. Popov, O. O. (2013). Pidhody do organizacii' ta vedennja kompleksnogo radioekologichnogo monitoryngu nazemnyh ekosystem u rajonah roztašuvannja AES [Approaches to the organization and conducting of comprehensive radiological monitoring of terrestrial ecosystems in the areas of nuclear power plants influence]. Zbirnyk naukovykh prac' IPME im. G. Je. Puhova NAN Ukrainy, 68, 11–18.

2. Jacyshyn, A. V., Popov, O. O., Artemchuk, V. O. (2014). Metody vymirjuvannja parametriv navkolyshn'ogo pryrodnoho seredovyssha [Measurement methods of environmental parameters]. Visnyk Nacional'nogo tehničnogo universytetu "HPI". Serija: Mehaniko-tehnologichni systemy ta komplekxy, 40(1083), 130-137.

3. Allesina, S., & Tang, S. (2012). Stability criteria for complex ecosystems. Nature, 483(7388), 205–208. doi: 10.1038/nature10832

4. Fowler, M. S., Laakso, J., Kaitala, V., Ruokolainen, L., & Ranta, E. (2012). Species dynamics alter community diversity-biomass stability relationships. Ecol Lett, 15(12), 1387–1396. doi: 10.1111/j.1461-0248.2012.01862.x

5. Kostyshyn, S. S., Rudenko, S. S. (2012). Innovacijni tehnologii' ocinky stijkosti vydiv ta ecosystem [Innovative technologies assessing the sustainability of species and ecosystems]. Ekologichni nauky, 1, 91-102.

6. Kolomyc, Je. G., Sharaja, L. S. (2014). Ustojchivost' lesnyh jekosistem, metody ee ischislenija i kartografirovanija [Sustainability of forest ecosystems, methods of its calculation and mapping]. Izvestija Samarskogo naučnogo centra Rosijskoj akademii nauk, 16 (1-1), 93-107.

7. Havanskaja, N. M. (2011). Metodicheskie podhody k ocenke ustojchivosti geosistem k vozdeystviyu dobyvajushhej promyshlennosti [Methodical approaches to the estimation of stability of geosystems exposed to the mining industry]. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija 3: Jekonomika. Jekologija, 3 (1), 254-257.

8. Loreau, M., & de Mazancourt, C. (2013). Biodiversity and ecosystem stability: a synthesis of underlying mechanisms. Ecol Lett, 16, 106–115. doi: 10.1111/ele.12073

9. Moiseenko, T. I., Gashov, S. N. (2011). Mehanizmy ustojchivosti i izmenchivosti jekosistem v uslovijah ih zagrzaznenija [Mechanisms of resistance and variability of ecosystems under the conditions of their pollution]. Vestnik Tjumenskogo gosudarstvennogo universiteta, 12, 17-27.

10. Badanova, U. A., Savvateeva, O. A. (2014). Ispol'zovanie sistem komp'yuternoj obrabotki prostranstvennoj informacii – osnova ocenki ustojchivosti jekosistem urbanizirovannyh territorij [Usage of computer processing of spatial information - the basis of assessment of the sustainability of ecosystems of urbanized areas]. *Uspehi sovremennogo estestvoznaniya*, 8, 87-88.
11. Avtonomov, A. N. (2014). K voprosu ustojchivosti sklonovyh jekologicheskikh sistem jekzogennoho tipa [On the problem of stability of slope environmental systems exogenous type]. *Fundamental'nye issledovaniya*, 9-10, 2181-2185.
12. Marova, S. F., Buryh, Ju. V. (2014). Analiz metodychnyh pidhodiv do ocinjuvannja stijkosti ekologo-ekonomichnyh sistem [Analysis of methodological approaches to the evaluation of ecological sustainability and economic systems]. *Teoretychni i praktychni aspekty ekonomiky ta intelektual'noi vlasnosti*, 1(1), 370-376.
13. Aleksandrovskaia, L. N., Aronov, I. Z., Kruglov, V. I. (2008). Bezopasnost' i nadezhnost' tehniceskikh sistem [Safety and reliability of technical systems]. Moscow: Universitetskaja kniga, Logos, 376.
14. Vetoshkin, A. G. (2003). Nadezhnost' tehniceskikh sistem i tehnogenyj risk [Reliability of technical systems and technogenic risk]. Penza: Izd-vo Penz. gos.un-ta, 155.
15. Semenov, A. A., Melkumjan, V. G. (1998). *Osnovy teorii' nadijnosti* [The course of reliability theory]. Kyi'v: KMUCA, 84.
16. Henli, Je. Dzh., Kumamoto, H. (1984). Nadezhnost' tehniceskikh sistem i ocenka riska [Reliability of technical systems and risk assessment]. Moscow: Mashinostroenie, 528.
17. Lysychenko, G. V., Zabulonov, Ju. L., Hmil', G. A. (2008). Pryrodnyj, tehnogenyj ta ekologichnyj ryzyky: analiz, ocinka, upravlinnja [Natural, technogenic and ecological risks: analyses, assessment and management]. Kyi'v: Nauk. dumka, 542.
18. Popov, O. O. (2013). Metody analizu ryzykiv v ekologii' [Methods of risks analyses in ecology]. *Zbirnyk naukovykh prac' IPME im. G.Je. Puhova NAN Ukrainy*, 69, 19-28.
19. Lysychenko, G. V., Hmil', G. A., Barbashev, S. V. (2011). Metodologija ocinjuvannja ekologichnyh ryzykiv [Methodology of assessment of ecological risks]. Odesa: Astroprynt, 368.
20. Jacishin, A. V., Kameneva, I. P., Popov, O. O., Artemchuk, V. O. (2012). Metody i tehnologii analiza riskov dlja zdorov'ja na osnove dannyh monitoringa [Methods and technologies of risk assessment on health of population based on monitoring data]. *Materialy IV Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoi konferencii «MODELIROVANIE-2012»*, 469-473.

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук Яцишин А. В.
Дата надходження рукопису 19.06.2015*

Попов Александр Александрович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, отдел проблем экологической безопасности, Государственное учреждение «Институт геохимии внешней среды Национальной академии наук Украины», пр. Палладина, 34а, г. Киев, Украина, 03680
E-mail: sasha_popov1982@mail.ru

Ковач Валерия Емельяновна, кандидат технических наук, научный сотрудник, отдел проблем экологической безопасности, Государственное учреждение «Институт геохимии внешней среды Национальной академии наук Украины», пр. Палладина, 34а, г. Киев, Украина, 03680
E-mail: valeriiakovach@gmail.com

Бляшенко Олег Викторович, кандидат технических наук, отдел проблем экологической безопасности, Государственное учреждение «Институт геохимии внешней среды Национальной академии наук Украины», пр. Палладина, 34а, г. Киев, Украина, 03680
E-mail: divizinyuk@ukr.net

Ковач Виктор Емельянович, аспирант, отдел проблем экологической безопасности, Государственное учреждение «Институт геохимии внешней среды Национальной академии наук Украины», пр. Палладина, 34а, г. Киев, Украина, 03680
E-mail: viktor_kovach@ukr.net

Сметанин Кирилл Владимирович, аспирант, отдел проблем экологической безопасности, Государственное учреждение «Институт геохимии внешней среды Национальной академии наук Украины», пр. Палладина, 34а, г. Киев, Украина, 03680
E-mail: cvetucomua@mail.ru

УДК 663.8.051

DOI: 10.15587/2313-8416.2015.47218

СИРОВИННИЙ ФАКТОР У ВИПУСКУ ЯКІСНИХ І БЕЗПЕЧНИХ АРОМАТИЗОВАНИХ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

© Н. Е. Фролова, Н. П. Івчук

В статті представлено дослідження шляхів встановлення справжності ефірних олій кмину і кропу на основі оптичної ізомерії компонентів.

Застосування в сучасних технологіях замороженої сировини, концентратів фруктів і овочів, зростаючий випуск оздоровчих продуктів вимагає використання ароматизаторів. Синтетичні ароматизатори можуть бути небезпечними для організму людини. Не менш небезпечним є застосування сфальсифікованих натуральних ароматизаторів

Ключові слова: ефірна олія, натуральний ароматизатор, оптична активність, препаративна хроматографія, кмин, кріп