

УДК 504.062.2

Пространственно-временной метод оценки экологической емкости территорий

Е.А. Мусихина^а, И.И. Айзенберг^б, О.С. Михайлова^с

Иркутский государственный технический университет, Лермонтова 83, Иркутск, Россия

^аelena.science@yandex.ru, ^бilya.ayzenberg.73@mail.ru, ^сmikhaylova.istu@gmail.com

Статья поступила 14.02.2014, принята 20.04.2014

Разработка методов комплексной оценки экологической емкости территорий с целью прогнозирования изменения ее состояния под антропогенным воздействием и определение с эколого-экономических позиций безопасных уровней техногенных нагрузок – проблема, имеющая выраженную социально-экономическую направленность. В статье проанализирован инструментарий для исследования процессов жизнедеятельности и эволюционирования открытых самоорганизующихся систем. Предлагается применение методов системного анализа для оценки состояния природной среды. Ключевые понятия классического системного анализа ориентированы на изучение систем в статическом состоянии, при наблюдении за динамической системой четкость и ясность основных системных понятий исчезают. Открытые динамические системы могут характеризоваться множеством изменяющихся параметров, поэтому необходимо построить модель такой системы, характеризующую главные отношения, конструирующие систему как целое и определяющие ее суть. Авторами обосновывается метод, в котором для каждой точки поверхности земли можно построить векторное многомерное пространство состояний, определяющее состояние среды в рассматриваемый момент времени. Расчет предлагается производить, используя пространственно-временную методику определения границ антропогенного воздействия. Для принятия решения о дополнительной нагрузке на природную среду следует провести комплексный расчет эколого-экономического риска по авторской пространственно-временной методике. Подобные расчеты необходимы для адекватной оценки нагрузки на систему и прогнозирования состояния системы после приложения антропогенного воздействия. Применение авторской методики позволяет определить порог устойчивости системы (точку перехода количественных изменений в качественные), учитывающий ее количественные и качественные характеристики.

Ключевые слова: экологическая емкость территорий, самоорганизующиеся системы, моделирование природной среды, пространственно-временной метод.

Space-time method for assessing the ecological territorial capacity

E.A. Musikhina^а, I.I. Aizenberg^б, O.S. Mikhailova^с

Irkutsk State Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk, Russia

^аelena.science@yandex.ru, ^бilya.ayzenberg.73@mail.ru, ^сmikhaylova.istu@gmail.com

Received 14.02.2014, accepted 20.04.2014

The development of the methods for integrated assessment of the ecological territorial capacity to predict changes in its state under anthropogenic influence, and the identification with ecological and economic positions of safe levels of anthropogenic loads are problems of social and economic matters. The article analyzes tools for studying the processes of life and evolution of open self-organizing systems. The use of the methods of systemic analysis to assess the state of the environment has been proposed. Key concepts of the classical systemic analysis focus on the study of systems in a static state. By observing the dynamic system the clarity of the basic system concepts disappears. Open dynamic systems can be characterized by a variety of changing parameters, so it is necessary to build a model of the system, which can characterize the main relationships constructed the system as a whole and determined its essence. The authors have justified the method in which each point on the earth surface can have vector multivariate state space constructed. The space specifies the state of the environment at a given moment of time. It has been offered to make calculations using space-time method to determine the boundaries of human impact. To decide on the additional load on the environment, additional calculation of ecological and economic risk should be made on the author's space-time method. Such calculations are needed to adequately assess the load on the system and to predict the states of the system after the application of human impact. The use of the author's method allows to determine the stability threshold of the system (transition point of quantitative changes into qualitative changes), taking into account its qualitative and quantitative characteristics.

Keywords: ecological territorial capacity, self-organizing systems, environmental modeling, space-time method.

Введение. Важнейшей проблемой, имеющей выраженную социально-экономическую направленность, является разработка методов комплексной оценки экологической емкости территорий с целью прогнозирования изменения ее состояния под антропогенным воздействием и определение с эколого-экономических позиций безопасных уровней техногенных нагрузок. Под экологической емкостью территории, определяемой состоянием экосистемы, следует подразумевать экологические характеристики любого отдельно взятого района. Ведь чистота воздуха, почвы и воды не существует сама по себе, их очистка

происходит вследствие саморегуляции открытых систем, которая легко может быть нарушена. Человечество, являясь элементом биосферы, сможет выжить только в том случае, если будет разумно использовать наследие былых биосфер.

Провозглашаемая концепция устойчивого развития, подразумевающая более высокие стандарты жизни, отнюдь не призывает достигать их за счет необдуманного использования природных ресурсов, разрушения и ухудшения качественных характеристик окружающей среды, происходящих из-за ее «переэксплуатации». Очевидно, что для реализации данной концепции требуется формирование нового образа мышления, новых оценок и нового образа жизни, способных регулировать экосистему до того, как напряжение в ней станет критическим. Для этого потребуются разработка новых системных подходов, принятие нестандартных, согласованных и в достаточной степени обоснованных решений, в том числе и законодательных. Следует остановить экологическую деградацию территорий, сохранить устойчивость еще оставшейся естественной среды, а это невозможно без исследования, анализа и построения моделей существующих и предполагаемых изменений в глобальной экосистеме, включающей как природные, так и антропогенные компоненты [1, 2, 12].

Первые представления о системе как совокупности элементов, находящихся в структурной взаимосвязи и образующих определенную структуру, возникли во времена античности в учениях Платона и Аристотеля. Развившись впоследствии в трудах Спинозы, Кузанского и в дальнейшем классиками немецкой философии Кантом, Гегелем и др., принцип системности используется в различных областях знания. Общая теория систем, по мнению австрийского ученого Л. фон Берталанфи, должна стать некой общей наукой о системах любых типов. Применение понятий системного подхода к анализу конкретных прикладных проблем привело к отдельной области исследований – системному анализу. По определению В.Н. Садовского, «исторически системный анализ является дальнейшим развитием исследования операций и системотехники... В таком понимании системный анализ – это особый тип научно-технического искусства, приводящего в руках опытного мастера к значительным результатам и практически бесполезного при его чисто механическом, нетворческом применении». Системный анализ применяется не только при изучении какого-либо явления или процесса, но прежде всего с исследованием связанной с ним проблемной ситуации. Составными частями системного анализа считаются кибернетика, теория информации, теория игр и принятия решений, системотехника и др. По мнению специалистов, работающих в данной области исследования, слишком много объектов-систем, но мало собственных методов исследования, инструментария, разработанного в рамках системного подхода, а не заимствованного вместе с конкретными приложениями из более старых областей науки [10, 11].

Попытаемся определить состояние природной среды в некоторой j -ой точке земной поверхности в

некоторый i -ый момент времени, который может быть оценен конечным числом параметров, представляющих в общем случае случайные величины отклонений от характеристик принятого за исходный нулевой вариант состояния среды. Такой величиной могут являться естественные нарушения рельефа, фоновое количество содержания химических элементов и т. д., обозначим данный набор величин вектором $Y(y_1, y_2, \dots, y_n)$. Для каждой точки поверхности земли вектор Y_j является функцией времени, следовательно, можно построить векторное многомерное пространство состояний. По каждой из осей рассматривается динамика одного из отклонений, причем отклонения по времени могут как накапливаться, так и рассеиваться. Каждая точка в данном векторном пространстве определяет состояние среды в данной точке земной поверхности в рассматриваемый момент времени (рис. 1).

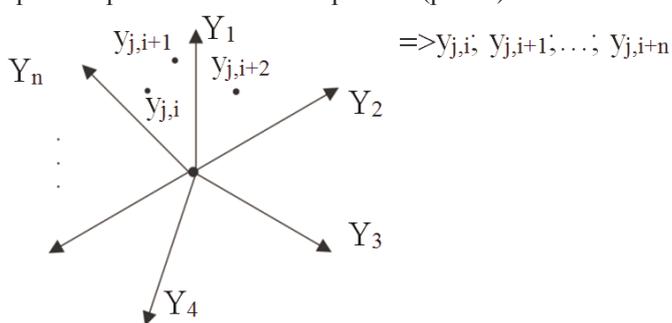


Рис. 1. Модель векторного пространства состояний природной среды в данной точке земной поверхности в рассматриваемый момент времени

В случае характеристики параметров y_1, y_2, \dots, y_n величиной ПДК можно рассмотреть пространство допустимых состояний природной среды или рассмотреть поверхность допустимых состояний, внутри которой изменения вектора Y можно не учитывать, регистрируя лишь моменты выхода за пределы исследуемого пространства. В связи с отсутствием комплексных ПДК можно считать составляющие случайного вектора Y_j независимыми.

Учитывая изменения состояния природной среды в пространстве, величину y следует рассматривать как нестационарную случайную функцию, поскольку ее статистические характеристики не являются инвариантными по отношению к выбору начала отсчета времени и зависят от времени. Обозначим данную случайную функцию $Y(t, x, y, z)$, сечением случайной функции является вектор $Y_j(t, x_j, y_j, z_j)$, определяющий состояние природной среды в какой-либо точке пространства с коррелятами x_j, y_j, z_j . Как было замечено выше, это многомерная случайная величина, комплексно отражающая изменение во времени характеристик природной среды (далее $Y_j(t)$). Для экспериментальной оценки величины $Y_j(t)$ необходимо проводить через определенные промежутки времени измерения характеристик природной среды в точке с

координатами x_j, y_j, z_j . В таком случае вектор $Y_j(t)$ можно рассматривать как детерминированную величину. Во всех остальных случаях это будет случайная величина.

Для более полной характеристики случайной функции γ введем неслучайную функцию, устанавливающую степень зависимости между двумя сечениями случайной функции, например, между сечениями в точках пространства j и j_1 , так как эти случайные векторы Y_j и Y_{j_1} вызваны реализациями одной и той же случайной функции, и, следовательно, должны быть взаимосвязаны (что, кстати, и показывают пространственные схемы загрязнений). Численная оценка этой взаимосвязи определяется корреляционным моментом:

$$K_{Y_j Y_{j_1}}(j, j_1) = M[Y_j^0, Y_{j_1}^0],$$

где $Y_j^0, Y_{j_1}^0$ – центрированные случайные величины векторов Y_j и Y_{j_1} .

$$Y_j^0 = Y_j - m_{Y_j},$$

где m_{Y_j} – математическое ожидание случайной величины Y_j .

Естественно, что изменения параметров, характеризующих состояния природной среды, отображенные случайной функцией γ , происходят под воздействием техногенных факторов (промышленное производство, горнодобывающая отрасль, работа систем энергетики).

По аналогии с характеристиками природной среды, техногенные воздействия также можно описать случайной функцией $U(t, x, y, z)$, сечениями которых в точках пространства будут случайные векторы воздействий $U_j(t)$.

Связи между параметрами антропогенных воздействий и характеристиками природной среды можно установить с помощью линейного оператора L :

$$Y(t, x, y, z) = LU(t, x, y, z).$$

Линейный оператор L представляет собой набор уравнений, позволяющий перейти от параметров техногенных воздействий к характеристикам состояний природной среды.

Установить такие связи для случайных функций – проблема достаточно сложная и требует очень значительного объема информации.

Более простым представляется подход, используемый для n -мерных векторов, определяющий соотношение между параметрами техногенного воздействия U_j и характеристиками состояния природной среды Y_j в некоторой точке пространства j .

Если $\bar{Y}_j(t)$ и $\bar{U}_j(t)$ – случайные n -мерные векторы, связанные неслучайными соотношениями, следовательно:

$$\bar{Y}_j(t) = B(t) * \bar{U}_j(t),$$

где $B(t)$ – матрица размерностью $(n \times n)$, элементы которой $b_{kl}(t)$ являются неслучайными функциями.

Математическое ожидание компонент вектора $\bar{Y}_j(t) = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ определяется из соотношений

$$m_{Y_k}(t) = \sum_{k=1}^n b_{kl} m_{U_k}(t), l = 1, 2, \dots, n,$$

а корреляционная матрица для моментов времени t и t' имеет вид:

$$K(t, t') = \begin{vmatrix} K_{y_1 y_1} & K_{y_1 y_2} & \dots & K_{y_1 y_n} \\ K_{y_2 y_1} & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_{y_n y_1} & \dots & \dots & K_{y_n y_n} \end{vmatrix}$$

$$K_{y_k y_l} = \sum_{p=1}^n \sum_{g=1}^n b_{kp}(t) b_{lg}(t') \cdot K_{u_p u_g}(t, t')$$

Основное противоречие теории систем заключается в том, что ключевые понятия классического системного анализа ориентированы на изучение систем в статическом состоянии. При наблюдении за динамической системой легко убедиться, что четкость и ясность основных системных понятий исчезают. Поэтому ключевым понятием теории открытых систем должна стать организация, характеризующая главные отношения, конструирующие систему как целое и определяющие ее суть. Система осуществляет процессы самовоспроизводства своих компонентов, составляющих ее организацию, осуществляя таким образом свою самоидентичность. Природная система, являясь динамической, самоорганизующейся, нестабильной и плохо прогнозируемой, требует совершенно отличного от классического системного анализа инструментария для исследования процессов жизнедеятельности и эволюционирования открытых самоорганизующихся систем.

Используя время как показатель дисконтирования затрат на восстановление природной среды, предполагается разработать комплексную оценку экологической емкости территорий (на примере Иркутской области, с возможностью адаптации к любым другим территориям) [3 – 9]. Таким образом, можно рассчитать, используя пространственно-временную методику, границы воздействия, не превышающие порог устойчивости, находящиеся в переходном периоде и теряющие устойчивость (где происходят качественные изменения в структуре системы). Следовательно, критерием устойчивости будет считаться стабильность элемента системы, обеспечивающего ее устойчивость без качественного изменения среды. Для выявления такого потребуются детальный анализ природной среды как системы – изначально в естественных условиях, а затем под воздействием антропогенной нагрузки. Работа исследователя затруднена свойством негативных

воздействий копиться, пока не начнутся необратимые изменения (качественные), поскольку отследить обратимые (количественные) изменения очень сложно, пока они еще не переросли в качественные или не подошли очень близко к такому уровню. Замечено, что такие изменения происходят чаще всего скачкообразно (подобно эволюции). Именно поэтому часто приходится сталкиваться с уже свершившимся изменением, и если мы хотим, чтобы экосистема вернулась в естественное состояние, необходимо учитывать непредсказуемость реакции системы на воздействие извне. Следовательно, прежде чем принять решение о дополнительной нагрузке на природную среду, следует провести комплексный расчет эколого-экономического риска по авторской пространственно-временной методике.

Рассчитав воздействия от различных факторов, произведем их суммирование по площадям наложения (по плотности воздействия), и лишь после такого анализа можно принять грамотное и обоснованное решение о допустимости (или недопустимости) увеличения нагрузки на экосистему любого района. Подобные расчеты необходимы для адекватности оценки воздействий на систему и прогнозирования состояний системы после приложения антропогенного воздействия, поскольку позволяют определить порог устойчивости системы (точку перехода количественных изменений в качественные) и служат обоснованием для разработки пространственно-временной методики оценки состояния экосистемы, учитывающей ее количественные и качественные характеристики.

В качестве формальной модели для расчета риска ущерба антропогенного воздействия, наносимого почвам, служит выражение:

$$Y = \frac{ПДК \cdot S_{нар}}{S_{общ}^n} \cdot K_{св} \cdot T_{max} \cdot \left(\frac{1}{Ck}\right)^{n-1},$$

где:

- ПДК – уровень предельно допустимой концентрации химического элемента – токсиканта;
- $S_{нар}$ – площадь загрязненных токсикантами земель;
- $S_{общ}$ – площадь территории Иркутской области;
- Ck – скейлинговый коэффициент – масштабный коэффициент подобия, принимаемый равным 2,95 (согласно расчетам);
- T_{max} – время жизни компонента, принимаемое за 100 лет (время формирования 1 см плодородного слоя);
- n – количество уровней системы, для которых производится расчет, в данном случае от 1 до 3;
- $K_{св}$ – коэффициент связи, принимаемый равным 3 (почвы, вода и воздух).

Осуществляя экспериментирование с моделью – подставляя в формулу принятые значения, а также данные по площадям и данные мониторинга окружающей среды исследуемого района, можно получить комплексную оценку ущерба, наносимого природной среде этого района, т. е. определить время, необходимое для восстановления почвенного покрова. Таким образом, время рассматривается как показатель дисконтирования затрат на восстановление природной

среды, с возможностью расчета риска ущерба в виде условных временных единиц.

Литература

1. Медоуз Д.Х., Медоуз Д.Л., Рандерс Й. За пределами допустимого: глобальная катастрофа или стабильное будущее? // Новая постиндустриальная волна на Западе: антология. М.: Academia, 1999. С. 572-595.
2. Мусихина Е.А. Использование системных свойств времени при оценке состояний природных систем // Вестн. ИрГТУ. 2005. № 3 (23). С. 151-152.
3. Мусихина Е.А. Исследование влияния фактора времени на оценку состояния окружающей среды в условиях работы горнодобывающих предприятий. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007. 92 с.
4. Мусихина Е.А. Методологический аспект проблемы оценки воздействий на природную систему // Вестн. ИрГТУ. 2007. № 2 (30). С. 54-59.
5. Мусихина Е.А. Методологический аспект технологии комплексной оценки экологической емкости территорий. М.: Академия естествознания, 2009. 137 с.
6. Мусихина Е.А. Методология комплексной оценки природной среды Иркутской области // Проблемы региональной экологии. 2010. № 3. С. 205-212.
7. Мусихина Е.А. Пространственно-временная модель оценки эколого-экономического риска // Информационные системы и технологии. 2012. № 4. С. 46-52.
8. Мусихина Е.А., Верхотуров В.В. О применении метода сценарного прогнозирования эколого-экономического развития территории // Технологии техносферной безопасности. 2012. № 4 (44). С. 5.
9. Плотинский Ю.М. Модели социальных процессов: М: Логос, 2001. 296 с.
10. Пугачева Е.Г., Соловьев К.Н. Самоорганизация социально-экономических систем. Иркутск: Изд-во БГУЭП, 2003. 172 с.
11. Глушкова В.Г. и др. Эколого-экономические проблемы России и ее регионов. 3-е изд. М: Моск. лицей, 2004. 326 с.

References

1. Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J. Beyond the permissible: a global catastrophe or a stable future? // Novaya postindustrial'naja volna na Zapade: antologija. M.: Academia, 1999. P. 572-595.
2. Musikhina E.A. Using the time system properties for assessing the state of natural systems // Vestn. IrGTU. 2005. № 3 (23). P. 151-152.
3. Musikhina E.A. Investigation of the time factor influence on environmental assessment under conditions of mining companies. Irkutsk: Izd-vo IrGTU, 2007. 92 p.
4. Musikhina E.A. Methodological aspect of the problem of the assessment of environmental impact // Vestn. IrGTU. 2007. № 2 (30). P. 54-59.
5. Musikhina E.A. Methodological aspect of the technology for complex assessment of ecological capacity of territories. M.: Akademija Estestvoznaniya, 2009. 137 p.
6. Musikhina E.A. Complex assessment methodology for the environment of Irkutsk Region // Problemy regional'noj jekologii. 2010. № 3. P. 205-212.
7. Musikhina E.A. Space-time assessment model of environmental and economic risk // Informacionnye sistemy i tehnologii. 2012. № 4. P. 46-52.
8. Musikhina E.A., Verkhotur V.V. About the application of the scenario forecasting method for environmental and economic development of the area // Tehnologii tehnosfernoj bezopasnosti. 2012. № 4 (44). P. 5.
9. Plotinsky Yu.M. Models of social processes: M: Logos, 2001. 296 p.
10. Pugacheva E.G., Solovienko K.N. Self-organization of social and economic systems. Irkutsk: Izd-vo BGUEP, 2003. 172 p.
11. VG Glushkov etc. Environmental and economic problems Russia and its regions. studies. allowance for economy. VU- Call. 3rd ed. Moscow Lyceum, 2004. 326 p.

