

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЭКОСРЕДЫ: ПРОБЛЕМА ОСТАНОВКИ

**Серпик Вячеслав Дмитриевич**

Старший преподаватель, Восточно-Сибирский  
институт МВД России, г. Иркутск  
pantsui@mail.ru

### MODELING OF POLLUTION OF ECOLOGICAL ENVIRONMENT: PROBLEM OF STOPPING

**V. Serpik**

*Summary.* In the industrial sphere, production of resources and other industries, pollution influences an environment (flora, fauna) often critically for self-recovery, environment pollutant neutralization. It is necessary to identify levels of influence, danger and also geotemporary characteristics of pollution.

One of such important problems is the problem of the termination of observation of pollution (the termination of expensive/difficult monitoring) of Wednesday, concentration of pollutants, their danger, damage to flora fauna. Especially dangerously deep pollution of the soil that to identify it, to neutralize, it is necessary to localize its geotemporary characteristics.

The technique, mechanisms, algorithms and software (tools) of localization of pollutant taking into account a class of its danger will be necessary. Such monitoring is very difficult, but mathematical modeling allows to predict pollution, to solve the specified problem.

Work is devoted to the system and mathematical analysis and the description of this problem, its research. The technique, mathematical model, identification procedure are considered.

The specified results will allow to realize the intellectual systems of decision-making on impurity of area, in particular, an expert system. A task relevant in emergency, emergency situations.

*Keywords:* modeling, stop, pollution, observation, system analysis.

*Аннотация.* В промышленной сфере, добыче ресурсов и других отраслях, загрязнение влияет на окружение (флору, фауну), часто критически для самовосстановления, нейтрализации загрязнителя среды. Следует идентифицировать уровни воздействия, опасности, а также геовременные характеристики загрязнения.

Одной из таких важных проблем является проблема прекращения наблюдения за загрязнением (прекращения дорогостоящего/сложного мониторинга) среды, концентрацией загрязнителей, их опасности, ущерба флоре-фауне. Особо опасно глубокое загрязнение почвы, чтобы его идентифицировать, нейтрализовать, необходимо локализовать его геовременные характеристики.

Понадобятся методика, механизмы, алгоритмы и программные средства (инструментарий) локализации загрязнителя с учетом класса его опасности. Такой мониторинг весьма сложен, но математическое моделирование позволяет прогнозировать загрязнение, решить указанную задачу.

Работа посвящена системному и математическому анализу и описанию данной проблемы, ее исследованию. Рассмотрены методика, математическая модель, процедура идентификации.

Указанные результаты позволят реализовать интеллектуальные системы принятия решений по загрязненности области, в частности, экспертную систему. Задача актуальна в аварийных, чрезвычайных ситуациях.

*Ключевые слова:* моделирование, остановка, загрязнение, наблюдение, системный анализ.

### Содержательная постановка задачи

**С**истемные проблемы экологии требуют системного рассмотрения целей, ресурсов, элементов, структур обеспечивающих принятие решений экологического развития, обеспечения экологической устойчивости среды, системы.

Исследователи придерживаются традиционно («популяционного») понимания экологических проблем общества [1], [2]. Но эволюционные потребности и цели современного общества требуют выделить экологию информационную и человека, изучить его поведение в окружающей (в том числе, информационной) среде.

Без математического, ситуационного моделирования, системного анализа это невозможно в силу сложности и плохой формализуемости отношений в среде, ее многокритериальности и неопределенности, отсутствия научного и опытного материала для обоснования принимаемых решений.

Необходимо исследование, моделирование «рабочих» проблем в экосистемах. Наличие загрязнения требует идентификации его источника, момента загрязнения, очистки, прекращения наблюдения.

Одной из таких важных проблем является проблема прекращения наблюдения за загрязнением (прекраще-

Таблица 1. Сравнительный анализ среднего возраста и ВВП стран

№	Страны	Средний возраст, лет	ВВП, \$ млрд. год
1	Австралия	82,8	1262,34
2	Бразилия	75	1556,44
3	Великобритания	81,2	2885,48
4	Израиль	82,5	316,77
5	Индия	68,3	2487,94
6	Россия	70,5	1267,55
7	США	79,3	19284,99
8	Ю. Корея	82,3	1379,32

ния дорогостоящего/сложного мониторинга) среды, концентрацией загрязнителей, их опасности [3], ущерба флоры-фауны. Особо опасно глубокое загрязнение почвы, чтобы его идентифицировать, нейтрализовать, необходимо локализовать его геовременные характеристики.

Влияет загрязнение и на качество жизни — прямо или косвенно (см. табл. 1).

В качестве исходных при моделировании данных («жизненного цикла» системы) необходим комплекс разнотипных (строительство, рекультивация, регенерация, нейтрализация и др.) данных, их анализ технологиями Big Data, Data Mining, Social Mining и др.

Для этого понадобится соответствующая методика локализации, которая позволит учесть классы опасностей загрязнителей, спрогнозировать загрязнение.

Работа посвящена системному и математическому (модельному) рассмотрению данной проблемы.

#### Формализация задачи и ее системный анализ

Стало уже понятно, что первичная продуктивность экосистем не покрывает потребностей человечества, поэ-

тому важно выявить инвариантные связи, эволюционные закономерности в экосреде, учитывать полнее требования человека к источникам возобновляемых ресурсов в экосистемах. Будущее человечества определит регуляторная функция, самоорганизация и выходы на устойчивый режим экосреды, использования ее ресурсов [4].

Системный анализ [5] предлагает общесистемные принципы исследования. Адаптированные к экосреде, они формулируются следующим образом:

1. продуктивность экосистем — не всегда возобновляема, устойчива;
2. рост продуктивности в экосистеме — за счет активации дополнительных энергетических и иных ресурсов, биоразнообразия, динамичности;
3. биоразнообразиие — прямое следствие плохо изученных фундаментальных законов Земли, Космоса;
4. планетарного масштаба процессы определяются саморегуляционным механизмом, вариабельностью экосистемы;
5. невозможны часто полностью экомониторинг, структурирование экосистем — лишь на общих гипотезах, учитывающих геовременные отношения;
6. декомпозиция (обычно ведущая к потерям информации, «шумам» в системе) возможно лишь

динамическим переупорядочиванием в системе, максимизацией эффективности обратных связей, контактов с окружением;

7. фундаментальные задачи экологического образования «чувствительны» к интересам экосреды, общества, человека.

Отметим сложность принятия экологических решений, из-за неопределенности. Заранее, вероятностно, невозможно прогнозировать загрязнение в системе. Сказывается внутренняя сложность — сложность внутренних состояний, управления, связей в экосистеме. Внешняя сложность идентифицируется сложностью отношений с окружением.

Меру сложности оценивать будем потенциалом (функционалом) эволюции, устойчивости, а эволюционную сложность экосистемы — разностью внутренней сложности (связей подсистем) и внешней (связей с окружением).

Оптимальная остановка процесса наблюдения за загрязнением при неопределенной функции выигрыша

Пусть имеется игровая бескоалиционная ситуация, в которой  $N$  игроков принимают решение на основе  $N$  независимых последовательностей  $x_n^{(1)}, x_n^{(2)}, \dots, x_n^{(N)}$  данных.

Считаем, что

$\{x_n^{(i)}\}, i = 1, 2, \dots, N$  образуют марковскую цепь на множестве состояний  $E = \{0, 1, 2, \dots, k\}$ , генерируемых из начальных состояний  $a_1, a_2, \dots, a_N$ . Игроки готовы остановить процесс наблюдения в любой момент времени, каждой остановке (в момент  $\tau_i$ ) соответствует стратегия игроков.

Так как игра бескоалиционная, то распределение выигрышей участников происходит для каждой пары. Если  $x_{\tau_i}^{(i)} > x_{\tau_j}^{(j)}$ , то выигрывает  $i$ -ый игрок (при  $x_{\tau_i}^{(i)} = x_{\tau_j}^{(j)}$  — ничья).

Интересует стратегия, ведущая к равновесному состоянию.

Для каждого состояния, в котором случайные последовательности из  $E$  поглощаются в состояниях  $0$  и  $k$ , заданы вероятности  $q_j^{(i)}, p_j^{(i)}, j = 1, 2, \dots, k - 1$  перехода в предыдущую или последующее состояние  $j$ -му состоянию.

Рассмотрим канонические шкалы:

$$U_i = \{u_0^{(i)}, u_1^{(i)}, \dots, u_k^{(i)}\}: u_0^{(i)} = 0, u_1^{(i)} = 1, \\ u_j^{(i)} = 1 + d_1^{(i)} + d_1^{(i)} d_2^{(i)} + \dots + d_1^{(i)} d_2^{(i)} \cdot \dots \cdot d_{j-1}^{(i)}, \\ j = 2, 3, \dots, k,$$

$$d_j^{(i)} = \frac{q_j^{(i)}}{p_j^{(i)}}, j = 1, 2, \dots, k,$$

а также векторы параметров  $d = (d_1, d_2, \dots, d_N)$ ,

$$\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_N), s^{(i)} = (s_0^{(i)}, s_1^{(i)}, \dots, s_k^{(i)})$$

и спектры стратегии  $i, s_j^i = P\{x_{\tau_i}^i = j\}$ .

Оптимальные спектры  $s^{(i)}$  определяются как решения задач линейного программирования [6]:

$$\sum_{i=1}^N (d_i u_{\alpha_i} + \beta_i) \rightarrow \min_D \\ D = \{(d_i; \beta_i; s_j^{(i)}) : i = 1, 2, \dots, N, j = 0, 1, \dots, k\}, \\ \sum_{\sigma=0}^k \sum_{m=1}^N s_i^{(m)} \delta(j, l) \leq d_i u_j + \beta_i, \sum_{j=0}^k s_j^{(i)} = 1, \\ \sum_{j=0}^k s_j^{(i)} u_j^{(i)} = u_{\alpha_i}^{(i)}, s_j^{(i)} \geq 0, \alpha_i \geq 0, \beta_i \geq 0 (\beta_i \leq 0).$$

Идентифицировав спектры, можно найти оптимальные стратегии  $\tau_1^*, \tau_2^*, \dots, \tau_N^*$  для наблюдающих за загрязнением (игроков).

Случайное блуждание  $x_n^{(i)}$  можно рассматривать как процесс загрязнения — очистки среды. Если задача — максимизировать очистку, согласно определенной функции выигрыша на  $E$ , когда эта функция зависит от урожая с других, параллельно развивающихся с рассматриваемой экосистемой.

Если вероятность обнаружения загрязнения  $p(r^* = l) = pr^*$ ,

то оптимальное значение завершения наблюдения  $r^* (\max p(|r - l| \leq N, N \geq 1))$  находим, решая уравнение:

$$r(u) = r(u_1, \dots, u_{n+1}) \\ = \max \left\{ \frac{1 - q^n}{1 - q} + u_1 + \dots + u_{n+1}, q \int_{-\infty}^{\infty} r(g(x), g(x)u_1, \dots, g(x)u_n) f_0(x) dx \right\},$$

где

$$g(x) = \frac{f_1(x)}{q f_0(x)}.$$

В области  $\{u_i \geq 0, j = 1, 2, \dots, n + 1\}$  реализуется метод последовательных приближений  $r_0(u) = 0$ ,

$$r_i(u) = \max \left\{ \frac{1-q^n}{1-q} + u_1 + \dots + u_{n+1}, \right. \\ \left. q \int_{-\infty}^{\infty} r_{i-1}(gu_1, \dots, gu_n) f_0(x) dx \right\}, i \geq 1.$$

Условие остановки наблюдений: прекратить наблюдения на наблюдении  $x_n$ ,  $n \geq N + 1$ , для которого выполнено условие [6], [7]

$$r \left( \frac{f_1(x_n)}{q f_0(x_0)}, \frac{f_1(x_n) f_1(x_{n-1})}{q^2 f_0(x_n) f_0(x_{n-1})}, \dots, \right. \\ \left. \frac{f_1(x_n) f_1(x_{n-1}) \dots f_1(x_{n-N})}{q^{N+1} f_0(x_n) f_0(x_{n-1}) \dots f_0(x_{n-N})} \right) = \\ = \frac{1-q^N}{1-q} + \frac{f_1(x_n)}{q f_0(x_0)} + \frac{f_1(x_n) f_1(x_{n-1})}{q^2 f_0(x_n) f_0(x_{n-1})} + \dots \\ + \frac{f_1(x_n) f_1(x_{n-1}) \dots f_1(x_{n-1})}{q^{N+1} f_0(x_n) f_0(x_{n-1}) \dots f_0(x_{n-N})}.$$

Область определения —  $(N + 1)$ -мерный куб со стороной  $a$ ,  $0 \leq u_i \leq a$ .

Функции  $r(u_1, u_2, \dots, u_{N+1})$ ,  $r_i(u_1, u_2, \dots, u_{N+1})$  задаются в узлах сетки, получаемой «подкубами», получаемыми в сеточной области  $\{u_i\}$ .

## Заключение

Загрязнение попадает в среду «воздух-вода-почва», воздействуя негативно на флору, фауну. Уровень воздействия зависит от концентрации веществ, их опасности, но и малые концентрации (с эффектом суммации) способны сильно вредить.

Основные загрязнители — отходы нефтехимии, газодобычи (фенол, ацетат, стирол и др.). Риск-ситуация при несоблюдении экологических и технологических требований ведут к загрязнению окружающей среды, экосистемы, что опасно из-за многофакторной токсичности, миграции в среде, как, например, в нефтегазовой сфере [8]. Наличие загрязнения требует идентификации его источника, момента загрязнения, очистки. Нелинейные модели, обеспечивают большую релевантность, но они сложны, их используют реже. Необходимо нормировать, снижать [9] загрязнение среды.

Полученные результаты позволят реализовать экспертные системы [10] и системы принятия решений (СППР) по загрязненности среды. Эта задача актуальна, например, в чрезвычайных ситуациях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Большаков В.Н., Криницин С.В., Кряжимский Ф.М., Мартинес-Рика Х.П. Проблемы восприятия современным обществом основных понятий экологической науки // Экология, № 3, 1996, с. 165–170.
2. Пых Ю.А., Малкина-Пых И.Г. Об оценке состояния окружающей среды. Подходы к проблеме // Экология, № 5, 1996, с. 323–329.
3. Экзарьян В.Н. Эколого-экономическая оценка техногенных последствий от изменений геологической среды как основа перехода на модель устойчивого развития // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2014, № 3, с. 242–251.
4. Кочергин А.Н. процессы самоорганизации в природных, социальных и когнитивных системах // Науч. вестник МГТУ ГА, 2014, № 203, с. 36–42.
5. Казиев В.М. Введение в анализ, синтез и моделирование систем. -М.: Бином. Лаборатория знаний. ИНТУИТ. 2007. —288с.
6. Мазалов В.В. Игровые моменты остановки. —Новосибирск: Наука (Сибирское отделение), 1987.-189 с.
7. Wojdecki T. Probability maximizing approach to optimal stopping and its application to a disorder problem // Stochastics. — 1975, v.3.
8. Ольховикова Н.Ю. Классификация технологий локализации и ликвидации загрязнений фенолсодержащими средами // Сборник тезисов XII Всероссийской конференции «Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России» (12–14 февраля 2018 г). -М.: РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, 2018.
9. Редина М.М., Хаустов А.П. Нормирование и снижение загрязнений окружающей среды. -М.: Юрайт, 2014. —430с.
10. Гражданкин А.И. Экспертная система оценки техногенного риска опасных производственных объектов / А.И. Гражданкин, П.Г. Белов // Безопасность труда в промышленности. 2000, № 11, с. 6–10.

© Серпик Вячеслав Дмитриевич ( pantsui@mail.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»