

## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ МЕЛИОРИРОВАННЫХ ПТК НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ И МЕТОДОВ РАСПОЗНАНИЯ ОБРАЗОВ

В связи с быстрым развитием мелиоративных работ особую актуальность приобретает проблема оценки состояния природно-территориальных комплексов, находящихся в зоне действия мелиоративных сооружений. Последствия мелиоративного воздействия не всегда оцениваются объективно. Одна из причин этого — отсутствие надежной методики, применение которой позволило бы конкретно и обоснованно ответить на вопрос о состоянии или тенденции развития природно-территориального комплекса (ПТК) в целом при заданных факторах антропогенной нагрузки. Под мелиоративной нагрузкой понимается влияние всех видов деятельности человека при строительстве и эксплуатации мелиоративных объектов.

Для оценки состояния мелиорированных ПТК нами предлагается методика построения модели, основанная на теории нечетких множеств и методах распознавания образов.

Принципиальной основой подхода является положение о взаимосвязи всех природных компонентов, поэтому моделирование должно включать анализ всех возможных факторов нагрузки на ПТК, независимо от их происхождения и структуры.

Основные виды мелиоративной нагрузки описываются большим количеством показателей, все они должны быть учтены, так как даже незначительные на первый взгляд факторы, накапливаясь, могут приводить к непредвиденным последствиям. Применение математического аппарата позволяет в рамках одной модели обрабатывать как цифровые, так и лингвистические переменные.

Сбор данных для построения модели посредством натурального эксперимента в масштабах природных комплексов маловероятен, а иногда и опасен из-за слабой предсказуемости результатов. Для данного класса задач подходящим является машинный эксперимент [1].

Модель должна базироваться на первом этапе только на статистических данных, существующих нормах и результатах географических исследований. В большинстве случаев точность этих данных невелика, что необходимо учитывать, особенно при использовании методов, перенесенных в географию из математики и физики.

Основные требования к модели можно сформулировать следующим образом: учет всех возможных источников и видов нагрузки; объединение в рамках модели данных различного происхождения; возможность учета в границах единого подхода имеющихся результатов мелиоративно-географических исследований и другой полезной информации; возможность учета мнения исследователей, если это необходимо, непосредственно в процессе моделирования (учет их опыта, знаний, интуиции при анализе критических состояний модели); обеспечение диалога модель — человек (для реализации предыдущего пункта); модель должна быть машинно-реализуемой, так как только с помощью ЭВМ можно использовать ряд современных методов обработки больших массивов данных.

Отразить все эти требования в модели и получить точный результат в настоящее время не представляется возможным, однако на данном этапе вполне достаточно иметь приблизительный, но математически строго обоснованный и пригодный для практического использования ответ.

Эксперименты, проведенные на ЭВМ с помощью описанной в [2] системы, показали, что для решения задачи комплексной оценки степени антропогенного воздействия на основе разнородных данных может быть

использована теория нечетких множеств \* (fuzzy sets.), предложенная в 1965 г. Л. А. Заде [3, 4]. В последние годы эта теория нашла широкое применение в разработке систем искусственного интеллекта, в робототехнике, генетике, «наилучшим способом структурируя все то, что разделено не очень четкими границами» [1, с. 9] и не противоречит ни одному из указанных требований к модели.

Методика построения модели заключается в следующем. Логика задачи подразумевает такие предположения: определен конкретный природный объект; выявлены все типы антропогенной нагрузки; по каждому типу определены конкретные показатели; регулярно снимаются численные или лингвистические диагностические характеристики по каждому показателю; имеются допустимые на сегодняшний день точные или приблизительные нормы, оценки, мнения по каждому показателю.

Определить степень антропогенной нагрузки на ПТК можно посредством множества диагностических характеристик:  $X = (x_1, x_2, x_3 \dots x_n)$ , которые описывают нагрузку на ПТК в момент времени  $t$ . Снятие характеристик производится регулярно через отрезок времени  $\Delta t_j$  \*\*. Согласно [4], нечеткое множество  $S$  совершенно строго, хотя часто и субъективно задается на  $X$  функцией принадлежности  $\mu_s(x)$ , которая ставит в соответствие каждому  $x \in X$  действительное число в интервале  $(0-1)$ . Чем ближе  $\mu_s(x)$  к единице, тем выше степень принадлежности  $x$  к  $S$ . При стремлении  $\mu_s(x)$  к нулю степень принадлежности соответственно уменьшается. Нечеткое множество  $S$  обычно задается множеством упорядоченных пар  $\{(x/\mu_s(x))\}$ .

Согласно [1, 4], результатом оценки системы может являться одно из заданных заранее возможных состояний, определенных лингвистической переменной. В нашем случае состояние ПТК определим как  $V = \{\text{хорошее, норма, допустимое, неудовлетворительное}\}$ .

Очевидно, первое состояние будет соответствовать идеальному случаю, когда антропогенная нагрузка полностью отсутствует и функции принадлежности дают одни нули. Для значения  $V = \{\text{неудовлетворительное}\}$  состояние  $\mu_s(x)$  будет равно единице или близко к ней, что означает необратимое нарушение репродукционных циклов и невозможность возврата в предыдущее состояние без вмешательства человека. Для классов  $\{\text{хорошее}\}$  состояние и  $\{\text{норма}\}$  —  $\mu_s(x) \approx 0,4-0,6$ . Выяснив для конкретного диагностического набора  $X$  принадлежность к одному из классов через функции принадлежности, получим пусть приближенную, но однозначную информацию о состоянии природного объекта, с помощью которой можно воздействовать на источники антропогенной нагрузки через плано-директивные и хозяйственные органы. При уменьшении степени нагрузки, т. е. при стремлении  $\mu_s(x)$  к нулю, если полностью не подавлена способность ландшафтных систем к восстановлению, природный объект будет постепенно переходить в более благоприятный для него класс.

Успех предложенной методики в большой степени зависит от правильности построения функций принадлежности, однако имеющейся на сегодняшний день информации (нормы, оценки, предельно допустимые концентрации) для этого вполне достаточно. Главное, практически вся она в той или иной степени может быть использована в модели посредством функций принадлежности. В некоторых случаях, когда трудно получить математическое выражение для построения функции принадлежности, можно ограничиться нечетким описанием на основе опыта, интуиции эксперта.

\* В литературе встречается и термин «размытые множества», что является вариантом перевода слова fuzzy.

\*\* Величина  $\Delta t_j$  неодинакова для различных групп показателей; для одних характеристики снимаются раз в день, для других — раз в неделю и т. д. Это зависит от конкретной задачи, однако прогон модели оценки на ЭВМ должен производиться для каждого  $\Delta t_j$ .

Для распознавания, к какому из имеющихся классов относится полученное посредством функций принадлежности нечеткое множество  $S$ , разработан ряд методов [5, 6]. Все они имеют свои преимущества и недостатки. Счет на ЭВМ по ряду ПТК показал, что близкий к действительности результат дает алгоритм, основанный на расчете евклидовых расстояний между нечетким множеством  $S$  и каждым из заданных классов состояний. Вывод о принадлежности делается на основании расчета евклидова расстояния по формуле

$$l(S, V) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\mu_S(x_i) - \mu_{Vj})^2}, \quad (0 \leq l \leq \sqrt{n})$$

или относительного евклидова расстояния

$$\varepsilon(S, V) = \frac{l(S, V)}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\mu_S(x_i) - \mu_{Vj})^2}, \quad (0 \leq \varepsilon \leq 1),$$

где  $\mu_S(x_i)$  — значение функции принадлежности для показателя  $x_i$ ;  $\mu_{Vj}$  — значение  $i$ -го показателя для  $j$ -го класса (эталонного множества);  $n$  — количество диагностических показателей;  $j$  — количество эталонных состояний (классов).

Принадлежность к одному из классов определяется по минимальному расстоянию между  $S$  и  $\mu_{Vj}$  класса.

Процесс оценки состояния природного объекта через влияющие на него факторы воздействия заключается в последовательном прохождении следующих этапов.

- 1) определение всех видов мелиоративного воздействия;
- 2) выбор показателей, отражающих каждый вид нагрузки;
- 3) построение системы возможных состояний природного объекта исходя из факторов антропогенного воздействия;
- 4) построение функций принадлежности для каждого показателя на основе имеющейся информации. Например,

$$\mu_S(x_i) = \begin{cases} 0, & \text{если } XI < 1,0 \text{ км дренажной сети на } 1 \text{ км}^2; \\ 0,4, & \text{если } 5,0 > XI > 2,0 \text{ км/км}^2; \\ 0,7, & \text{если } 25,0 > XI > 5,0 \text{ км/км}^2; \\ 1, & \text{если } XI > 25,0 \text{ км/км}^2; \end{cases}$$

5) регистрация диагностических характеристик по каждому показателю через определенный отрезок времени  $\Delta t_j$ ;

6) классификация: отнесение набора диагностических характеристик к одному из заданных классов;

7) анализ результатов и принятие решений.

По данному алгоритму разработан комплекс программ на языке PL/1 и подключен к библиотеке моделей, связанной с базой данных [2]. Для иллюстрации работы программы приведем протокол диалога модель — человек:

00.00.34

BG ДАЙТЕ ИМЯ ОБЪЕКТА

BG REG

BG ПО ОБЪЕКТУ: REG

BG ИНФОРМАЦИЯ В БАЗЕ — ЕСТЬ

BG ФУНКЦИИ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ — ЕСТЬ

BG ЗАДАННЫЕ КЛАССЫ СОСТ. — ЕСТЬ

BG К-ВО ЗАДАННЫХ КЛАССОВ — 4

BG К-ВО ПОКАЗАТЕЛЕЙ — 0

BG СПИСОК ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАСПЕЧАТЫВАТЬ?

BG ДА

BG XI : СТОИМОСТЬ ОСН. ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФОНДОВ (ТЫС. РУБ./КМ<sup>2</sup>)

VG X2 : СТОИМОСТЬ ВАЛОВОЙ ПРОДУКЦИИ (ТЫС. РУБ./КМ<sup>2</sup>)  
 VG X3 : ПОСТУПЛЕНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В ПОЧВУ (КГ/КМ<sup>2</sup>)  
 VG X4 : ДРЕНАЖНЫЕ ВОДЫ (М<sup>3</sup>·СУТ/КМ<sup>2</sup>)  
 VG X5 : ПЛОЩАДИ Р-НА ПОД РАЗРАБОТКИ  
 VG X6 : ПЛОТНОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ (ЧЕЛ./КМ<sup>2</sup>)  
 VG ЗАДАННЫЕ КЛАССЫ СОСТОЯНИЯ РАСПЕЧАТАТЬ?  
 VG ДА  
 VG V= (ХОРОШЕЕ, НОРМА, ДОПУСТИМОЕ, НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНОЕ)  
 VG ФУНКЦИИ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ РАСПЕЧАТАТЬ?  
 VG НЕТ  
 VG РАБОТА : ОЦЕНКА (1), МОДЕЛИРОВАНИЕ (2), ВЫХОД (3)  
 VG 2  
 VG РАССТОЯНИЕ : ЕВКЛИДОВО (1), ХЕММИНГА (2)  
 VG 1  
 VG ВЫЧИСЛЯЕТСЯ : R (1) — ЕВКЛ. РАССТ., RO (1) — ОТН. ЕВКЛИД. РАССТ.  
 VG ДАННЫЕ ПОСЛЕДНЕЙ ДИАГНОСТИКИ ПО — REG —:  
 VG 290 410 1100 1260 16 48  
 VG СОСТОЯНИЕ ОПРЕДЕЛЕНО КАК «ДОПУСТИМОЕ»  
 VG ВВЕДИТЕ ВАШУ КОРРЕКТИРОВКУ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
 VG +60 +190 +900 +1800 +4 +10  
 VG R(1)=2.172 RO(1)=0.88671  
 VG R(2)=1.232 RO(2)=0.50296  
 VG R(3)=0.799 RO(3)=0.32619  
 VG R(4)=0.565 RO(4)=0.23066  
 VG ВЫВОД: MIN РАССТОЯНИЕ ДО КЛАССА 4, МАХ — ДО КЛАССА 1  
 VG СОСТОЯНИЕ REG — «НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНОЕ»  
 VG КРИТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ: X2, X3, X4, X5  
 VG РЕКОМЕНДАЦИИ: ЧТОБЫ REG ОСТАЛСЯ В КЛАССЕ  
 VG «ДОПУСТИМОЕ» СОСТОЯНИЕ  
 VG НЕОБХОДИМО: X2 УМЕНЬШИТЬ MIN НА 50.00  
 VG X3 УМЕНЬШИТЬ MIN НА 300.00  
 VG X4 УМЕНЬШИТЬ MIN НА 160.00  
 VG X5 УМЕНЬШИТЬ MIN НА 4.00  
 VG РАБОТА : ОЦЕНКА (1), МОДЕЛИРОВАНИЕ (2), ВЫХОД (3)  
 VG 3

В данном примере анализируется состояние природного объекта с трехзначным машинным кодом REG при заданном увеличении 6 факторов антропогенной нагрузки (например, при строительстве нового предприятия в пределах ПТК). Функции принадлежности в программе построены на основании оценок, приведенных в [6].

Таким образом, в предлагаемой модели состояние природного объекта предстает постоянно меняющимся, переходящим из одного класса в другой в зависимости от положительных или отрицательных факторов антропогенного воздействия.

Предварительные результаты позволяют судить о перспективности предложенных авторами методов при организации мелноративно-географических мониторинговых исследований.

### Список литературы

1. Крапивин В. Ф., Свирижев Ю. М., Тарко А. М. Математическое моделирование глобальных биосферных процессов. М., 1982.
2. Аношко В. С., Вальвачев А. Н. // Вестн. Белорусского ун-та. Сер. 2, хим., биол., геогр., 1984. № 2. С. 60.
3. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. М., 1982.
4. Zadeh L. A. // Inform. and Control. 1965. V. 8. P. 338.
5. Елисеева М. И., Рукавишников В. О. Группировка, корреляция, распознавание образов. М., 1977.

УДК 551.435.4 : 551.79(476)

М. Е. КОМАРОВСКИЙ

## О МОЩНОСТИ АНТРОПОГЕНОВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В ПРЕДЕЛАХ МИНСКОЙ И ОШМЯНСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТЕЙ

Минская и Ошмянская возвышенности, расположенные в центральной части Белорусской гряды, сложены мощной толщей антропогенных (плейстоценовых) отложений. Распределение мощности плейстоценовых образований позволяет судить об условиях формирования названных крупных форм рельефа, характере ледниковой аккумуляции и динамике оледенений. В связи с этим сведения о мощности антропогенных пород необходимы для понимания образования Минской и Ошмянской возвышенностей.

Антропогенная толща рассматриваемых возвышенностей построена ниже- и среднелейстоценовыми породами. При этом определяющая роль принадлежит образованиям последнего среднелейстоценового ледника [1]. В результате деятельности комплекса физико-географических факторов (гидросеть, лёссовобразование и эрозийные процессы) и сформировалась свойственная Минской и Ошмянской возвышенностям картина распределения мощности описываемых образований.

Мощность отложений распределяется весьма дифференцированно. На территории возвышенностей отчетливо выявляются обширные зоны (Ивенецко-Минская, Ошмянская, Воложинско-Заславльская и Логойская), отличающиеся довольно значительными (более 180 м) величинами мощности. Наряду с этим обособляются Плещеницко-Докшицкая и Дзержинская зоны, для которых характерны меньшие значения мощности (см. рисунок).

