

*С. И. Зотов, А. В. Покровский  
И. И. Кесорецких, И. С. Зотов*

**ЗНАЧИМОСТЬ РЕЛЬЕФА ДЛЯ ОЦЕНКИ  
УЯЗВИМОСТИ ПРИРОДНЫХ КОМПЛЕКСОВ  
К АНТРОПОГЕННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ**

*Рассмотрено влияние рельефа на оценку уязвимости природных комплексов к антропогенным воздействиям. Разработана модель-классификация уязвимости природных комплексов к антропогенным химическим и механическим воздействиям. Приведены примеры значимости рельефа для оценки уязвимости природных комплексов на площадях нефтепоискового бурения, расположенных в различных геоморфологических районах Калининградской области.*

*This article considers the influence of terrain on the assessment of natural system sensitivity to anthropogenic impact. The author presents a classification model of natural system sensitivity to anthropogenic chemical and mechanical impacts. The article examines certain cases of the influence of terrain on the assessment of natural complex sensitivity in the areas of oil exploration drilling located in different geomorphic regions of the Kaliningrad region.*



**Ключевые слова:** рельеф, антропогенные воздействия, загрязнение, уязвимость природных комплексов.

**Key words:** terrain, anthropogenic impact, pollution, natural complex sensitivity.

## **Введение**

Под уязвимостью природных комплексов понимается степень их зависимости от внешних воздействий, или вероятность их повреждения, изменения параметров природных комплексов в результате внешних воздействий, приводящих к нарушению их функционирования и структуры [6; 7]. Важным этапом в оценке уязвимости природных комплексов к различным антропогенным воздействиям является выбор наиболее значимых составляющих, определяющих перенос веществ между природными компонентами. Одним из главных факторов, определяющих перенос веществ, рассматривается рельеф.

Влияние рельефа на уязвимость природных комплексов к антропогенным воздействиям обусловлено несколькими показателями. Прежде всего, это уклон земной поверхности, обуславливающий способность горизонтальной миграции загрязнителей: если показатель уклона выше, то скорость распространения и масштабы загрязнений увеличиваются. Эта же зависимость прослеживается и для механических воздействий, так как процессы эрозии, выветривания активизируются на склонах, что повышает показатели уязвимости всего природного комплекса. Таким образом, рельеф выступает в роли транспортной составляющей загрязнения, определяя масштаб и скорость горизонтальной миграции. В этом случае мы имеем дело с двумя возможными сценариями: это либо условия, способствующие распространению загрязнения и выражающиеся в виде высоких значений уклона, либо, наоборот, блокирующие или в некоторых случаях локализирующие загрязнение — на равнинных территориях. В Калининградской области первый сценарий может иметь место на моренных равнинах, второй — на озерно-ледниковых равнинах.

Рельеф в значительной степени предопределяет вертикальную миграцию загрязнителей и их распространение грунтовыми водами. Для моренных равнин характерен супесчаный и песчаный гранулометрический состав почв; для озерно-ледниковых равнин — глинистый и суглинистый гранулометрический состав почв. Количество и скорость вертикальной миграции загрязняющих веществ в таких почвах принципиально отличаются и вносят различный вклад в уязвимость природных комплексов. Миграция загрязнения интенсивнее в песчаных и супесчаных почвах, что повышает уязвимость природного комплекса. Уровень грунтовых вод повторяет уклоны земной поверхности, а глубина их залегания зависит от типа рельефа. Глубина залегания грунтовых вод в Калининградской области колеблется в интервале от десятых метра до 10 м в зависимости от типа рельефа. На



озерно-ледниковых равнинах грунтовые воды залегают близко к земной поверхности, дренируются небольшими поверхностными потоками, что способствует распространению загрязнений и повышению уязвимости природных комплексов. Таким образом, рельеф имеет большую значимость для уязвимости природных комплексов к антропогенным воздействиям.

### Методика исследования

Предлагаемая нами общая оценка уязвимости природных комплексов наряду с геоморфологическим фактором учитывает климатические, гидрологические, гидрогеологические, почвенные условия, структуру угодий территории и основывается на подходе, изложенном в работах [4; 5]. Данный подход нашел свое отражение в методике расчета интегрального показателя уязвимости природных комплексов к антропогенному воздействию, в котором каждый фактор имеет свой весовой коэффициент. Это своего рода численное выражение значимости различных факторов в общей картине уязвимости, в которой фактор рельефа имеет большой «вес». Аналогичный подход практикуется и в исследованиях иностранных ученых для расчета и картирования сводного индекса экологической чувствительности акваторий [8; 9].

Для расчета интегрального показателя уязвимости природных комплексов использовалась известная последовательность операций [1–3].

*Этап 1.* Отбор  $m$  исходных критериев  $X_1, \dots, X_m$ , которые образуют группы показателей, отражающих различные параметры исследуемых свойств. Определяются предельные значения ( $X_{\min}, X_{\max}$ ), вид и монотонность связи исходных параметров с исследуемыми свойствами объекта.

*Этап 2.* Для каждого критерия проводится нормирование показателей на основе разработанных нормирующих функций, учитывающих вид (прямая, обратная) и линейность (нелинейность) связи выбранного критерия с оцениваемым свойством. В результате нормирования получаются безразмерные показатели  $q_1, \dots, q_m, 0 \leq q_i \leq 1$ . Каждый  $q_i$  является функцией исходной характеристики  $q_i = q_i(x_i)$  и позволяет оценить исследуемое свойство с точки зрения  $i$ -го критерия.

*Этап 3.* Вводится функция  $Q(q) = Q(q_1, \dots, q_m)$ , агрегирующая нормированные показатели  $q_1, \dots, q_m$  в единый интегральный показатель  $Q = Q(q)$ . На синтезирующую функцию, определяющую этот показатель, накладываются ограничения:  $Q(0, \dots, 0) = 0$ ;  $Q(1, \dots, 1) = 1$ ;  $0 \leq Q \leq 1$ . В качестве простейшей синтезирующей функции, которая применяется в данной работе, выбрана линейная функция вида  $Q = Q(q, w) = Q(q_1, \dots, q_m; w_1, \dots, w_m) = \sum q_i w_i$ .

*Этап 4.* Моделирование значимости отдельных критериев (приоритетов). В геоэкологических (эколого-географических) оценках значимость отдельных критериев традиционно определяется при помощи сравнительных суждений типа «данный критерий более важен для общей оценки, чем другой критерий» или «данные критерии имеют



одинаковую значимость для интегральной оценки» и т.п. Таким образом, значимость отдельных критериев чаще всего измеряется по нечисловой (ординальной, порядковой) шкале или всем критериям навязывается равенство приоритетов оценивания. В других случаях исследователь задает интервалы возможного варьирования весовых коэффициентов. В связи с этим появляется необходимость работы с нечисловой (порядковой), неточной (интервальной) информацией, которая чаще всего бывает и неполной (не для всех весовых коэффициентов заданы нетривиальные равенства и неравенства, соответствующие интервальной и порядковой информации). Нечисловая, неточная и неполная информация (так называемая «ннн»-информация) индуцирует целое множество допустимых наборов весовых коэффициентов при получении интегральных оценок.

На данном этапе моделируются следующие весовые коэффициенты  $w = (w_1, \dots, w_m)$  — неотрицательные «веса», задающие значимость (важность, весомость, приоритетность) отдельных параметров для оцениваемого свойства ( $w_1 + \dots + w_m = 1$ ) с учетом экспертной информации о весах.

Ординальная (порядковая) — OI:

$$OI = \{w_r > w_s, w_u = w_v, \dots r, s, u, v \in \{1, \dots, m\}\}.$$

Интервальная — II:

$$II = \{0 \leq a_i \leq w_i \leq b_i \leq 1\} \{1, \dots, m\}.$$

В итоге учитывается вся информация:  $I = OI + II$ .

Этап 5. Переход к интегральной оценке  $Q(q;I) = MQ(q;I)$ :

$$\overline{Q^{(j)}}(I) = \overline{Q}(q^{(j)}; I) = \overline{Q}(q^{(j)}; \overline{w}(I)) = \frac{1}{N(m, n; I)} \sum_{i=1}^{N(m, n; I)} Q^{(i)}(q^{(j)}).$$

### Модель-классификация уязвимости природных комплексов к антропогенным воздействиям

Предлагаемая модель-классификация уязвимости природных комплексов к антропогенным воздействиям (химическому, механическому) построена с учетом придания весовых коэффициентов факторам, определяющим эту уязвимость (табл. 1, 2).

Таблица 1

#### Исходная классификация для оценки уязвимости природных комплексов к антропогенным воздействиям (химическому, механическому)

Параметр	Градация уязвимости							
	Высокая		Умеренная		Пониженная		Низкая	
1. Расстояние до водотока (м)	10	50	50	100	100	250	250	500
2. Нерестовый статус	1	1	1	1	1	2	2	2
3. Уровень грунтовых вод (м)	0,5	2	2	3	3	4	4	5



Параметр	Градация уязвимости							
	Высокая		Умеренная		Пониженная		Низкая	
4. Механический состав почв	1	2	2	3	3	4	4	5
5. Тип угодий	1	2	2	3	3	4	4	5
6. Охраняемый статус	1	1	1	1	1	2	2	2
7. Густота речной сети (км/км <sup>2</sup> )	1,4	1,25	1,25	1,11	1,11	0,96	0,96	0,8
8. Уклон земной поверхности (°)	20	15	15	10	10	5	5	0

50

*Примечания:*

1. Наличие нерестового и охраняемого статуса соответствует один балл, отсутствию данных статусов – два балла.

2. По механическому составу почвы, имеющие 1–2 балла, соответствуют песчаным и супесчаным, 2–3 балла – легкосуглинистым, 3–4 балла – среднесуглинистым и 4–5 баллов – тяжелосуглинистым почвам.

3. По типу угодий 1–2 баллам соответствуют болотные угодья, 2–3 баллам – лесные, 3–5 – баллам луговые.

Таблица 2

**Нормированные значения параметров оценки уязвимости природных комплексов к антропогенным воздействиям (химическому, механическому) и значения сводного интегрального показателя**

Параметр	Градация								Весовой коэффициент
	Высокая		Умеренная		Пониженная		Низкая		
1. Расстояние до водотока (м)	1,000	0,918	0,918	0,816	0,816	0,510	0,510	0,000	0,155
2. Уклон земной поверхности (°)	1,000	0,750	0,750	0,500	0,500	0,250	0,250	0,000	0,145
3. Густота речной сети (км/км <sup>2</sup> )	1,000	0,750	0,750	0,517	0,517	0,267	0,267	0,000	0,135
4. Охраняемый статус	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,125
5. Нерестовый статус	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,125
6. Уровень грунтовых вод (м)	1,000	0,667	0,667	0,444	0,444	0,222	0,222	0,000	0,115
7. Механический состав почв	1,000	0,750	0,750	0,500	0,500	0,250	0,250	0,000	0,105
8. Тип угодий	1,000	0,750	0,750	0,500	0,500	0,250	0,250	0,000	0,095
<i>Интегральный показатель</i>	1	0,829	0,829	0,670	0,670	0,227	0,227	0	1

**Примеры уязвимости природных комплексов к антропогенному воздействию**

Значимость рельефа для оценки уязвимости природных комплексов к антропогенному воздействию можно рассмотреть на примерах



территорий Калининградской области, где ведется нефтепоисковое бурение.

В качестве сравниваемых территорий рассмотрим две площади нефтепоискового бурения: Домновскую и Лавскую. Анализ основных параметров уязвимости природных комплексов к антропогенному воздействию (химическому и механическому) показывает достаточно сходные данные: обе площади относятся к водосбору р. Лавы, для них характерны густая речная сеть, незначительные различия в глубинах залегания грунтовых вод, преобладание луговых угодий. Если соотнести эти данные с матрицей оцениваемых параметров, то, не производя детальный анализ, можно говорить о том, что уязвимость природных комплексов к антропогенным воздействиям данных территорий будет сходной. Но расположение этих площадей нефтепоискового бурения на территориях с различным рельефом обуславливает и различия в уязвимости их природных комплексов. На Лавской площади, расположенной в южной части Прегольской озерно-ледниковой равнины, загрязнение скорее примет локальный характер, так как его распространению будут препятствовать малые уклоны. На Домновской площади, находящейся на границе Прегольской озерно-ледниковой равнины и Вармийской холмисто-моренной возвышенности, загрязнение транспортируется на большие расстояния, что связано с повышенными отметками и расчлененностью рельефа. В данном случае рельеф обуславливает более высокую уязвимость природных комплексов Домновской площади в сравнении с Лавской.

### Список литературы

1. Дмитриев В. В., Фрумин Г. Т. Экологическое нормирование и устойчивость природных систем : учеб. пособ. СПб., 2004.
2. Дмитриев В. В., Александрова Л. В., Васильев В. Ю. Многокритериальная оценка экологического состояния и устойчивости геосистем на основе метода сводных показателей // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2000. Вып. 4 (№31). С. 34–47.
3. Дмитриев В. В. Интегральные оценки состояния сложных систем в природе и обществе // Биосфера. 2010. Т. 2, №4. С. 507–520.
4. Зотов С. И., Кузьмина Е. В., Сивков В. В. Оценка экологической чувствительности прибрежных ландшафтов Калининградской области к химическому загрязнению // Прибрежная зона моря: морфолитодинамика и геоэкология : матер. конф. / отв. ред. В. В. Орленок. Калининград, 2004. С. 228–230.
5. Зотов С. И., Десятков В. М. Результаты мониторинга геоэкологических последствий нефтепоискового бурения и добычи нефти в районе верхового болота Целау (Правдинское) // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2006. № 8. С. 65–73.
6. Новиков М. А. Интегрированная оценка экологической уязвимости акватории Белого моря // Экологические системы и приборы. 2006. №1. С. 21–27.
7. Чернов А. В. География и геоэкологическое состояние русел и пойм рек Северной Евразии. М., 2009.



8. *Nouri J., Danehkar A., Sharifpour R.* Evaluation of the Ecological Sensitivity in the Northern Coastal Area Of the Persian Gulf // Journal of Applied Sciences and Environmental Management. 2007. Vol. 11, № 4. P. 119–123.

9. *Jensen J.R., Halls J.N., Michel J.* A Systems Approach to Environmental Sensitivity Index (ESI) Mapping for Oil Spill Contingency Planning and Response. URL: [http://www.asprs.org/a/publications/pers/98journal/october/1998\\_oct\\_1003–1014.pdf](http://www.asprs.org/a/publications/pers/98journal/october/1998_oct_1003-1014.pdf)

### Об авторах

Сергей Игоревич Зотов – д-р геогр. наук, проф., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.

E-mail: zotov.prof@gmail.com

Альберт Викторович Покровский – проф., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.

E-mail: ecogeography@gambler.ru

Иван Иванович Кесорецких – асп., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.

E-mail: ivan.k.loki@gmail.com

Игорь Сергеевич Зотов – асп., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.

E-mail: zotov\_igor@bk.ru

### About authors

Prof. Sergey Zotov, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: zotov.prof@gmail.com

Prof. Albert Pokrovsky, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: ecogeography@rambler.ru

Ivan Kesoretskikh, PhD student, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: ivan.k.loki@gmail.com

Igor Zotov, PhD student, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: zotov\_igor@bk.ru