



УДК 502.45

И. И. Кесорецких, С. И. Зотов

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ
УЯЗВИМОСТИ ПРИРОДНЫХ КОМПЛЕКСОВ
К АНТРОПОГЕННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ**

Проведен сравнительный анализ понятий «устойчивость», «чувствительность», «уязвимость» применительно к природным комплексам. Изложено содержание авторской методики оценки уязвимости природных комплексов к антропогенным воздействиям.

51

This article offers a comparative analysis of the concepts of «stability», «sensitivity», «vulnerability» in relation to natural complexes and offers the author's methodology for assessing the vulnerability of natural complexes to anthropogenic impact.

Ключевые слова: природные комплексы, устойчивость, уязвимость, методика оценки.

Key words: natural complexes, stability, sensitivity, assessment methodology.

Важное направление научных исследований в географии и геоэкологии — анализ и оценка негативных последствий антропогенных воздействий на окружающую среду. К доминирующим факторам, ухудшающим состояние окружающей среды, можно отнести химические и механические воздействия. Для разработки методических аспектов данного направления исследований необходимо сопоставить понятия, описывающие структурные и качественные характеристики природных комплексов. К таковым понятиям относятся «устойчивость», «чувствительность» и сравнительно недавно появившееся как самостоятельный термин — «уязвимость».

Из трех перечисленных лишь термин «устойчивость» имеет четко разработанную понятийную и методологическую базы, что позволяет активно применять его в прикладных целях для оценки состояния различных природных объектов. В наиболее общем понимании устойчивость геосистем может быть рассмотрена как способность противостоять физико-химическому разрушению, самовосстанавливаясь после нарушения с определенной полнотой и скоростью, самоочищаться от загрязнений.

Понятие «чувствительность» появилось позже, чем «устойчивость». И если можно говорить о том, что понятийная база для данного термина уже в целом сформирована, то о методической основе как единой сложившейся структуре с разработанными общепризнанными подходами к прикладным аспектам использования этого понятия говорить еще рано. Термин употребляется в различных областях научных знаний: биологии, медицине, психологии, социологии, экономике, физике и др. В каждой из них чувствительность трактуется по-разному, однако все определения имеют ряд общих аспектов. В самом широком смысле это свойство объекта воспринимать раздражение. Экологическая чувствительность отражает тип ответной реакции природных систем на



внешнее воздействие. Степень чувствительности отражает глубину изменений, происходящих в природном комплексе, и их последствий. Большой интерес к прикладным аспектам применения данного понятия при оценке морских акваторий обусловил необходимость в разработке понятия для морских ландшафтов ввиду их специфики. Под экологической чувствительностью морских ландшафтов понимается интенсивность массо- и энергообмена. Таким образом, чувствительные участки морских ландшафтов — активные пограничные слои и зоны, где даже незначительные нарушения природных равновесий могут вызывать ощутимые негативные последствия для окружающей среды [5]. Данное определение подходит и для ландшафтов суши.

В методологическом плане термин «чувствительность» имеет неоднозначную трактовку. Одни авторы считают его антонимом понятия «устойчивость», другие же — самостоятельным и, как следствие, требующим особого внимания в плане разработок методик его расчета. От того, какую точку зрения занимает исследователь, во многом зависит подход к оценке данного показателя. В первом случае критерии экологической чувствительности оказываются обратными критериям экологической устойчивости, и становится возможным использование всего объема методик для устойчивости, но с противоположными значениями. Во втором случае подобная схема неприменима, и необходимо создание абсолютно новой системы критериев оценки чувствительности. Именно такой подход в настоящее время все чаще встречается в научной литературе, однако он обнаруживает некоторые сложности в сопоставлении методик, так как сами параметры и их вклад (степень влияния) определяются экспертным путем и носят субъективный характер.

На данном фоне в научной литературе все больше начинает применяться термин «уязвимость» — неспособность природного комплекса сохранять структурную и экологическую целостность под воздействием внешних сил [3]. По-иному экологическую уязвимость можно охарактеризовать как вероятность неблагоприятных изменений среды обитания, связанных с приложением внешних сил [12]. Для водных акваторий используется следующее определение уязвимости — это способность водной экосистемы к изменению своих параметров в результате внешних воздействий, приводящих к нарушению функционирования и структуры ее сообщества [7].

Можно обнаружить сходство в дефинициях уязвимости и чувствительности, но оба термина находят все большее применение в научных экологических исследованиях. Дело в том, что понятие «чувствительность» используется для целостных организованных объектов, какими являются организмы, популяции, экосистемы. Понятие «уязвимость» чаще употребляется в исследованиях по оценке состояния таких системных объектов, как ландшафты, речные и морские водосборы.

Существуют различные методики оценки уязвимости природных комплексов, в большинстве своем они сводятся к расчету интегрального балльно-индексного показателя, различаются они объектом исследования и набором оцениваемых критериев. Таковы работы В.Ю. Васильева, В.В. Дмитриева, Л.В. Александровой [2], В.В. Дмитриева [4], С.И. Зотова, Е.В. Кузьминой, В.В. Сивкова [5], М.А. Новикова [7; 8], М.Г. Опекуновой



[9], Г.Т. Фрумина [11], Э.Р. Гандлеша, М.О. Хейиса [13]. Анализ и обобщение разных методик оценки уязвимости для химического и механического воздействий показали целесообразность создания обобщенной интегральной матрицы, на основе которой по одним и тем же показателям можно было бы оценить эти два вида уязвимости. Идея заключается в том, что даже при возможности четко классифицировать воздействия на различные классы и подклассы они остаются по своей сути многофакторными. В качестве модельного объекта воздействия рассмотрим свалку ТБО. Без сомнений, данный вид воздействия нельзя отнести к одной единственной категории, он включает элементы и механического, и химического воздействия. Такой пример не единичен, и многофакторность воздействия хозяйственных объектов, как и различных загрязнителей, очевидна. Представленная матрица разработана для природных условий Калининградской области (табл.).

Матрица параметров уязвимости природных комплексов

Параметр	Градация	Балл
Расстояние до водотока (м) / нерестовый статус	10–50	4 / 5
	51–100	3 / 4
	101–250	2 / 3
	251–500	1 / 2
Уровень грунтовых вод (м)	0,5–2,0	4
	2,1–3,0	3
	3,1–4,0	2
	4,1–5,0	1
Механический состав почв	Песчаный, супесчаный	4
	Легкосуглинистый	3
	Среднесуглинистый	2
	Тяжелосуглинистый	1
Тип угодий / охраняемый статус	Болотные	4 / 5
	Лесные	3 / 4
	Луговые	2 / 3
Густота речной сети (км/км ²)	0,80–0,95	1
	0,96–1,10	2
	1,11–1,25	3
	1,26–1,40	4
Уклон земной поверхности (°)	0–5,0	1
	5,1–10,0	2
	10,1–15,0	3
	15,1–20,0	4

Расстояние до водотока. В интегральном виде этот показатель отражает соподчиненность плакорных, транзитных и аккумулятивных ландшафтов, которые определяют пути миграции и накопления загрязнителей. Таким образом, чем ближе находится оцениваемая точка к водотоку, тем выше шанс попадания загрязнителей в поверхностные воды и их транспортировки на значительные расстояния. Также стоит учитывать, что на границах разделения сред (суша – вода) наиболее активно идут геохимические процессы, вследствие чего механические воздействия могут создавать значительные нарушения в их динамике,



геохимические барьеры и активно дестабилизировать динамику природных комплексов. Учитывается и нерестовый статус водотока.

Уровень грунтовых вод. На исследуемой территории водоносный горизонт находится на глубинах от 0,5 до 5 м. Вследствие этого загрязнители могут переноситься на большие расстояния. Что касается механических воздействий, то чем выше уровень грунтовых вод, тем активнее они будут влиять на его гидродинамические показатели (повышение, понижение уровня).

Механический состав почв. Глубина инфильтрации и площадь распространения загрязнителя в значительной степени определяются типом механического состава: глинистый состав, как правило, делает более защищенными грунтовые воды, пески и супеси способствуют проникновению загрязнителя на глубину. С точки зрения механического воздействия более уязвимыми будут почвы песчаного и супесчаного состава, так как процессы выветривания, эрозии, дефляции протекают в них намного активнее, чем в почвах с преимущественным глинистым составом.

Тип угодий. Включает болотные, лесные и луговые. Загрязнение потенциально опасно для болотных и лесных угодий, учитывая их роль в биоразнообразии, а для болотных также учитывается наличие торфяных горизонтов, влекущих ряд опасных для природной среды последствий нефтяного загрязнения. Такая же картина складывается и для механического воздействия, которое наиболее опасно для болотных угодий в силу влияния на гидродинамические показатели, динамику геохимических и биологических процессов. Очень важен учет природной ценности и охраняемого статуса угодий.

Густота речной сети. Чем выше этот показатель, тем активнее происходит транспортировка загрязнителей. В этом случае водотоки, с одной стороны, выступают как коридоры миграций, а с другой — как потенциальные объекты химического загрязнения. Механические воздействия с ростом величины густоты речной сети также становятся более опасными для природных комплексов и могут в значительной степени изменять как гидрохимические показатели (за счет геохимических барьеров), так и гидродинамические (изменение уровня вод за счет создания дополнительного гидравлического напора).

Уклон земной поверхности. Данный параметр в целом определяет миграционные способности загрязнителей. Чем активнее они распространяются по территории природного комплекса, тем значительней будет дестабилизирующее влияние на все его компоненты. С усилением величины уклона более активно станут протекать и различные склоновые процессы, что может существенно влиять на результаты механического воздействия, создавая или препятствуя развитию склоновых эрозионных процессов, водной эрозии и т. д.

Следующий этап оценки интегральной уязвимости — расчет суммарного балла для каждой оцениваемой точки. Стоит заметить, что в данном случае недостаточно просто суммировать баллы по всем показателям и определить их среднее значение. Здесь необходим анализ степени вклада того или иного параметра для конкретного природного комплекса и вида воздействия. Это решается путем введения в расчетную формулу весовых коэффициентов. Методикам их расчета и анализа посвящены работы В. В. Дмитриева [4], И. Н. Рубанова, В. С. Тикунова



[10]. Таким образом, возможно учесть значимость отдельных показателей, что существенно повысит достоверность интегральной оценки.

Описанный набор параметров матрицы является базовым, или основным. Наравне с ними возможно использование дополнительных, которые отражали бы специфику характеристик, присущих отдельным объектам оценки. Такой подход к анализу оценки носит название двухуровневого [1]. Его назначение заключается в повышении репрезентативности оценки путем введения второй матрицы параметров (например, степень нарушенности земель, назначение земель и т.д.). Использование именно такого подхода позволяет охватить весь спектр характеристик, но при этом разделить их на приоритетные или те, чей вклад наиболее значим для оценки уязвимости, и менее значимые, но все же имеющие «вес» и влияющие на расчет суммарного интегрального показателя.

В общем виде схема расчета в данном случае имеет следующий вид:

$$I_y = (\sum P_o + \sum P_d) \cdot K_{\phi}$$

где I_y – расчетный интегральный показатель; $\sum P_o$, $\sum P_d$ – суммы баллов основных и дополнительных параметров оценки природных комплексов; K_{ϕ} – весовой коэффициент, рассчитываемый с учетом экологической или экономической значимости территории или объекта.

В качестве инструмента для реализации расчетов и их визуализации самым эффективным способом является использование ГИС-технологий. В общем виде структуру ГИС можно представить в виде блок-схемы (рис.).



Рис. Структура ГИС для оценки уязвимости природных комплексов

Создание подобной ГИС возможно на основе программного продукта ArcGIS. Она будет представлять собой систему покрытий: карты гидрографической сети, почв, растительности, ландшафтов, ООПТ, населенных пунктов. Цифровые версии этих карт позволят дополнить с помощью инструментария ГИС поля атрибутивной таблицы по данным, отраженным в матрице параметров уязвимости природных комплексов.



Далее в структуре ГИС следуют блоки аналитических карт. Они представляют собой расчетные таблицы, в которых будет высчитываться показатель интегральной уязвимости для механического и химического воздействия с учетом бальной оценки компонентов из атрибутивных таблиц и весовых коэффициентов. Следующий блок — это расчет интегрального показателя уязвимости природных комплексов к антропогенному воздействию на базе двух ранее полученных аналитических карт.

Последний, но один из важнейших этапов разработки методики оценки уязвимости природных комплексов к химическому и механическому воздействию — это ее верификация. Причем расчет достоверности методики необходимо проводить по нескольким направлениям:

1. Сопоставление с результатами аналогичных методик. Любая бально-индексная модель подразумевает активное участие эксперта-оценщика, именно он определяет во многом спектр оцениваемых параметров, их градацию, и собственно интерпретация полученных количественных выражений в виде интегральных показателей опирается на опыт и профессионализм эксперта.

2. Изучение данного подхода на различных масштабах исследования. Не секрет, что разные методики подходят для оценки объектов строго определенной размерности, например бассейны рек, отдельные ландшафты, микро-, мезо-, макрорегионы. Универсальность модели может быть признана тогда, когда при неизменности параметров (базовых, или основных), достоверность оценки не изменяется при переходе с локального на региональный уровень и более высокие. Это не обязательное условие методики, многочисленные модели позволяют получать достоверные данные по отдельным объектам, что также немаловажно для проведения детальных исследований; или же, наоборот, приобретают смысл при крупномасштабных, трансграничных районированиях территорий, где важнейшая задача — даже не столько выявление четкой дифференциации внутри регионов, а расчет общего тренда и динамики изменения показателей. Другая сторона универсальности методики может заключаться в возможности применения ее для других регионов, так называемых географических аналогов, сходных по физико-географическим параметрам. В этом отношении Калининградская область находится в большом выигрыше, так как специфика ее физико-географического положения, а также близость к европейским государствам дают возможность широко использовать методологическую базу по вопросам сравнения с уже апробированными методиками анализа об оценки уязвимости природных комплексов.

Предложенная методика оценки уязвимости природных комплексов к антропогенному воздействию не имеет жесткой привязки к оценочным шкалам и параметрам, вариант матрицы параметров, описанный выше, может быть модифицирован при необходимости введения новых критериев и дополнительной экспертной информации. Корректировка методики в этом случае будет достигаться расчетом соответствующих весовых и дополнительных коэффициентов либо переходом на двухуровневую систему расчета интегрального показателя уязвимости. Развитие данного направления важно для Калининградской области, что обусловлено высокими темпами техногенной трансформации ландшафтов в связи со строительством Балтийской атомной электростанции, Приморского



кольца и др. Учет всех возможных последствий и степени остроты воздействия на ранних этапах проектирования позволяет в значительной степени сократить нагрузку на природные комплексы.

Список литературы

1. Белов Н. С. Оценка геоэкологической ситуации в речных бассейнах Калининградской области с применением геоинформационных технологий : дис. ... канд. геогр. наук. Калининград, 2011.
2. Васильев В.Ю., Дмитриев В.В., Александрова Л.В. Многокритериальная оценка экологического состояния и устойчивости геосистем на основе метода свободных показателей // Вестн. СПб. ун-та. Сер.: Биология. 2000. № 4. С. 34–47.
3. Дедю И.И. Экологический энциклопедический словарь. Киев, 1990.
4. Дмитриев В.В. Интегральные оценки состояния сложных систем в природе и обществе // Биосфера : междисциплинарный науч. и прикладной журн. 2010. №4. С. 507–520.
5. 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. проф. В.В. Орленок. Калининград, 2004. С. 228–230.
6. Кочуров Б.И. Геоэкологическое картографирование : учеб. пособ. для вузов / РАН, Ин-т географии, Науч.-образоват. центр, Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова, геогр. фак-т. М., 2009.
7. Новиков М.А. Интегрированная оценка экологической уязвимости акватории Белого моря // Экологические системы и приборы. 2006. №1. С. 21–27.
8. Новиков М.А. Применение географических экспертно-аналитических систем для оценки эколого-токсикологической уязвимости акватории Баренцева моря // Экологические системы и приборы. 2007. №5. С. 47–52.
9. Опекунова М.Г. Опыт проведения экспертного анализа экологического состояния геосистем // Вестн. СПб. ун-та. Сер.: География. Геоэкология. 2001. С. 71–87.
10. Рубанов И.Н., Тикунов В.С. Методология оценки экологической составляющей устойчивого развития и состояния окружающей среды в Российских условиях // Материалы международной конференции «ИнтерГИС». Пермь, 2005. С. 206–214.
11. Фруммин Г.Т. Оценка качества воды по гидрохимическим показателям // Экологические проблемы Северо-Запада России и пути их решения. СПб., 1997. С. 344–350.
12. Чернов А.В. География и геоэкологическое состояние русел и пойм рек Северной Евразии. М., 2009.
13. Gundlach E.R., Hayes M.O. Classification of costal environments in terms of potential vulnerability to oil spill damage // Marine technology society journal. 1978. Vol. 12, №4. P. 18–27.

Об авторах

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

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

Сергей Игоревич Зотов – проф., Балтийский федеральный университет им. И. Канта.

Email: s.zotov@bk.ru

About authors

Ivan Kesoretskikh, PhD student, I. Kant Baltik Federal University.

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

Prof. Sergey Zotov, I. Kant Baltik Federal University.

E-mail: s.zotov@bk.ru