РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА УЯЗВИМОСТИ РАЙОНОВ МОРЕХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ К ОПАСНЫМ ПРИРОДНЫМ ЯВЛЕНИЯМ

В.В. Кулыгин

Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук, г. Ростов-на-Дону
kulygin@ssc-ras.ru

Аннотация: В последние годы оценка рисков опасных природных явлений стала одной из основных тем, представляющих интерес для специалистов разного профиля во всем мире. Исследование уязвимости объектов, подверженных риску, все чаще находит свое применение при планировании и управлении территориями. В работе рассматривается подход к оценке уязвимости районов, в которых ведется морехозяйственная деятельность, к проявлению опасных природных явлений. Базовая элементарная единица оценки уязвимости территорий – геообъект, в качестве которых предложено использовать муниципальные образования, расположенные вдоль береговой линии. В качестве реципиентов риска выбраны основные виды хозяйственной деятельности, население и экосистемы. Индекс уязвимости рассчитывается на основе переменных, характеризующих такие компоненты как подверженность воздействию, чувствительность и адаптивная способность. Оценка осуществляется последовательно на всех иерархических уровнях геообъекта. Основным результатом применения предложенной методики являются ГИС-карты типов уязвимости отдельных реципиентов и карта общей уязвимости. Итоговая карта может использоваться для обеспечения планирования мероприятий по повышению безопасности морехозяйственной деятельности.

Ключевые слова: уязвимость, морехозяйственная деятельность, опасные природные явления.

Современная оценка опасных природных явлений часто сводится к констатации произошедшего события и определению ущерба, к которым оно привело, обычно выраженных в виде материальных затрат на восстановление разрушенных объектов. В то же время, такие оценки не могут охарактеризовать все потери от проявления природных опасностей, в частности – потери, связанные с изменением состояния экосистем, а также предвидеть ожидаемые потери в результате изменения климата.

В свою очередь, определение уязвимости геосистем находит все большее применение в таких задачах как планирование хозяйственной деятельности (уточнение допустимых антропогенных нагрузок), и предупреждение возникновения нежелательных последствий воздействия опасных природных процессов. Поэтому разработка методов и алгоритмов оценки уязвимости геосистем является актуальной задачей.

Цель этого исследования состоит в разработке метода оценки уязвимости различных видов морехозяйственной деятельности с точки зрения возможных негативных последствий опасных природных явлений в приморских районах. В работе рассмотрены следующие вопросы: определение комплекса показателей, отражающих уязвимость населения и экономики; построение карт для выявления районов с наиболее высокой уязвимостью.

Каждая геосистема характеризуется наличием определенных природных и техногенных компонент, связанных между собой. Уязвимость объекта/системы

можно рассматривать как свойство частично или полностью утрачивать способность к выполнению своих функций в результате воздействия явления определенной интенсивности. Т.е. уязвимость выступает как мера способности противостоять действию внешних сил (сохранять структурную и функциональную целостность). Ее величина отражается в последствиях воздействия опасных процессов: степень разрушения технических объектов, продолжительность недоступности инфраструктуры и услуг, степень утраты здоровья, полное или частичное уничтожение природных компонентов, изменение флоры и фауны, ее репродуктивной способности и т.д.

В настоящей работе используется концепция из [1], согласно которой уязвимость выражается как функция от трех основных компонент: подверженность воздействию (*exposure*), чувствительность (*sensitivity*) и адаптивная способность (*adaptive capacity*).

В контексте оценок уязвимости морехозяйственной деятельности первый компонент подверженности воздействию включает как, оценку возможных потерь (площади территории, основных фондов и количества населения, подверженного опасному воздействию), так и значения климатических переменных в рассматриваемом регионе. Таким образом, природная опасность в данной методике опосредовано включается в оценку суммарной уязвимости через величины, характеризующие опасности.

Чувствительность – это свойство объекта или системы воспринимать раздражение, выражаю-

щее степень изменений в системе под внешним воздействием. Использование термина «чувствительность» нашло широкое применение в экологических исследованиях, в частности при оценке влияния нефтяного загрязнения на морские побережья. В работе [2] введен один из первых индексов экологической чувствительности (Environmental Sensitivity Index, ESI). На основании этого подхода разработана классификация морских берегов. В ее основе лежат следующие принципы: чувствительность к нефти зависит от степени защищенности берега от волнового воздействия, скорости проникновения нефти в подстилающие слои, времени естественного удержания нефти на берегу и биологической продуктивности береговых организмов [3]. Если рассматривать технические объекты, то логичнее говорить не о «чувствительности», а о «восприимчивости» (susceptibility). Восприимчивость геосистемы зависит от состояния инфраструктуры, жилищных условий и социальной защищенности населения, общего экономического потенциала района.

Адаптивная способность – способность адаптироваться к изменившимся условиям среды, т.е. справляться со стрессорами, вызванными экстремальными явлениями, и смягчать потенциальный ущерб. Адаптивная способность системы это компонента, обладающая наибольшей неопределенностью. Она является относительно новой концепцией с множеством различных интерпретаций того, что это такое и как ее измерять в экологических и социальных измерениях. Например, в [4] определена следующая структура факторов адаптивного потенциала в контексте изменения климата:

- экономические ресурсы (отсутствие ресурсов ограничивает варианты адаптации);
- технологии (отсутствие технологий ограничивает диапазон возможных вариантов адаптации);
- информация и навыки (отсутствие квалифицированного и обученного персонала снижает адаптивную способность; доступ к информации повышает вероятность своевременной и соответствующей адаптации);
- инфраструктура (развитая инфраструктура повышает адаптивный потенциал);
- наличие развитых институтов (хорошо развитые социальные институты помогают снизить воздействие опасностей и, следовательно, увеличить адаптивную способность);
- характер распределения ресурсов (значение имеют как доступность, так и право на ресурсы).

Таким образом, потенциальное воздействие на систему основано на интенсивности воздействия (подверженности) и присущей системе чувствитель-

ности, а адаптивная способность системы уменьшает фактическое воздействие. Поэтому уязвимость объекта выступает в качестве комплексного показателя, отражающего: социально-экономическую значимость объекта, связанную с природопользованием; строение объекта, определяющее его физическую подверженность; биологическую ценность объекта, отражающую его роль в экосистеме района и т.д.

В общем случае исследуемый регион/геосистему можно представить, как совокупность пространственных единиц, отражающих особенности воздействия опасных природных явлений, специфику морехозяйственной деятельности и состояние экосистемы. Каждая пространственная единица представляет собой геообъект, который может рассматриваться как отдельный элемент, сложившийся в результате взаимодействия геологических, геоморфологических, океанографических, климатических и антропогенных факторов [5].

Для оценки уязвимости различных видов морехозяйственной деятельности предлагается в качестве геообъектов использовать существующее административное деление (муниципальные районы и городские округа), так как на этом уровне осуществляется планирование мероприятий по защите от опасных явлений, а также публикуется статистическая информация. Таким образом, рассматриваются муниципальные образования, расположенные вдоль береговой линии.

Каждый геообъект включает ряд природных компонент (атмосферу, почвы, поверхностные и подземные воды, растительность и животный мир), а также объекты экономики. В зависимости от вида опасного явления последствия для геообъекта будут различаться между собой, несмотря на то, что перечень природных и техногенных компонентов (реципиентов) может быть общим.

Уязвимость зависит как от свойств самого объекта, его способности противостоять негативным воздействиям, так и от интенсивности этих воздействий, поэтому оценка уязвимости осуществляется для каждого природного компонента и объекта экономики в зоне потенциального проявления опасного природного процесса. Таким образом, оценка уязвимости осуществляется для каждого типа подверженных объектов, а затем объединяется в сложный многокомпонентный объект оценки – геообъект.

Методика предполагает использование комплексного индекса, оценивающего каждый из компонентов уязвимости с помощью нескольких индикаторов. Выбор индикаторов является сложной задачей, причем как тех, которые отражают силу воздействия

опасных природных процессов, так и индикаторов, характеризующих последствия такого воздействия для отдельных объектов экономики и природных компонентов. Кроме того, поскольку российская статистика в большей степени направлена на учет материальных активов, то оценка «способностей» геосистем делается лишь с помощью косвенных индикаторов.

В качестве реципиентов риска выбраны основные виды хозяйственной деятельности, население и экосистемы. Для каждого реципиента определяются характерные для него индикаторы (типы) уязвимости, зависящие от типа воздействующих опасных явлений и подверженных объектов. Предлагаемые типы уязвимости для выбранных реципиентов представлены в таблице 1.

Таблица 1.
Основные типы уязвимости

Реципиент	Тип уязвимости
Сырьевая индустрия (нефтегазодобыча, минеральные ресурсы)	Уязвимость береговых строений к наводнениям
	Уязвимость морских платформ и береговых сооружений к гидродинамическому воздействию во время штормов
	Уязвимость морских и береговых сооружений к завалам/навалам льда
	Уязвимость береговых строений/инфраструктуры к абразии
Морской транспорт	Уязвимость плавсредств к ударному гидродинамическому воздействию во время штормов
	Уязвимость судоходства в ледовый период
	Уязвимость к прекращению судоходства во время сгонов
	Уязвимость к наводнениям в портовой зоне
Рыболовство	Уязвимость рыбы к условиям среды
	Уязвимость рыбы к дефициту растворенного кислорода
	Уязвимость плавсредств к ударному гидродинамическому воздействию во время штормов
	Уязвимость береговых строений/инфраструктуры к абразии
Рекреация	Уязвимость к штормовой/неблагоприятной погоде
	Уязвимость здоровья туристов к наводнению
	Уязвимость привлекательности территорий в период «цветения» (запах, образование пленки на поверхности водоема)
	Уязвимость привлекательности территорий при «заморах» (мертвая рыба в пляжной зоне)
Население	Уязвимость здоровья к наводнениям
	Уязвимость здоровья к штормовой/неблагоприятной погоде
	Уязвимость здоровья к цветению водорослей
Морские экосистемы	Уязвимость управления ООПТ
	Уязвимость эвтрофирования
	Уязвимость к загрязнению водной толщи и донных отложений
	Уязвимость нарушения трофических цепочек
	Уязвимость к биоинвазии

Каждый из типов уязвимости, представленный в таблице 1, оценивается по трем компонентам: подверженность воздействию (E), чувствительность (S) и адаптационная способность (A). Для оценки индекса уязвимости (VI) в настоящем исследовании используется выражение:

$$VI_i = w_{iE}E_i + w_{iS}S_i - w_{iA}A_i \quad (1)$$

где w_{i*} – веса, отражающие относительную значимость компонентов.

Наиболее уязвимый геообъект имеет наибольшее значение VI в уравнении (1) при минимальном уровне адаптационной способности; менее уязвимые объекты имеют наименьшее значение. Веса w_{i*} нормализованы: их сумма равна единице.

Для расчета каждого из трех типов компонент выбирается соответствующий набор переменных. Выбор переменных основан на анализе публикаций,

интервью с экспертами и наличием статистических показателей. Вычисление производится по формуле:

$$E_i = \sum_{j=1}^{n_i} v_j x_j, \quad \sum_{j=1}^{n_i} v_j = 1, \quad (2)$$

где n_i – количество переменных i -го типа уязвимости, используемых для расчета компонента E ; x_j – значение переменной; v_j – вес переменной. Аналогичная формула используется для расчета компонент S и A .

Поскольку используемые переменные имеют разные размерности и масштабы, то они должны быть нормализованы. Для этого используется выражение:

$$\bar{x}_j = \frac{x_j - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}}, \quad (3)$$

где x_j – значение переменной j ; $x_j^{\min}$ – минимальное значение переменной j ; $x_j^{\max}$ – максимальное зна-

чение переменной j ; x_j – нормированное значение переменной j .

Нормировка всех переменных позволяет сделать показатели уязвимости сопоставимыми. При этом сравнение муниципальных образований осуществляется уже на основе относительных значений уязвимостей. Поэтому нужно иметь в виду, что хотя индекс уязвимости и выражается количественно, но он имеет качественное значение.

После выбора переменных для определения вклада каждой из них необходимо задать значения их весов. Для этого можно прибегнуть к одной из экспертных процедур: метод Дельфи, метод анализа иерархий и т.д.

Предложенный подход позволяет уточнять оценку уязвимости путем добавления новых переменных, в случае существования соответствующих требований и исходных данных.

Как было указано выше, оценка компоненты подверженности воздействию включает характеристику рассматриваемых опасностей. Для этого важно одновременно определить генезис и интенсивность ожидаемых природных процессов и установить предполагаемые границы зоны их воздействия. В зависимости от характера воздействия опасного явления его последствия будут существенно различаться между собой. Так, например, для наводнения различия в значениях уязвимости будут связаны в основном с его продолжительностью: при сильном половодье процесс затопления будет медленным, но наводнение более продолжительным, по сравнению со случаем прорывы плотины (размеры зон затопления при этом могут быть одинаковыми).

Главная трудность здесь заключается в том, что разные неблагоприятные процессы и связанные с ними опасные явления характеризуются разными физическими параметрами. Поэтому при попытке выполнить оценку с несколькими опасностями последствия их воздействия не могут быть выражены одним общим параметром. Следовательно, важным этапом является определение общих базовых уровней интенсивности и частоты опасных явлений разных типов.

Предлагается использовать здесь бальную шкалу, связывающую интенсивность явлений, независимо от их характера, с их средним ожидаемым воздействием на подверженные объекты. Аналогичным образом составляется бальная шкала для частоты опасного явления, соответствующая разным периодам повторяемости. Наконец, объединение двух шкал интенсивности и частоты событий приводит к определению общей матрицы угроз, которая позволяет создать шкалу опасности. Пример

подобной бальной матрицы представлен в таблице 2. Таким образом, определяется метрика общая для всех типов опасных явлений, выражающая их потенциальное воздействие.

Таблица 2.
Матрица 6-ти бальной оценки величины потенциального воздействия, комбинирующая две качественные шкалы интенсивности и частоты опасного явления

Интен- сивность опасного явления	Частота опасного явления					
	квази- посто- янная	очень высо- кая	высо- кая	сред- няя	низ- кая	очень низ- кая
очень высокая	6	6	5	5	4	3
высокая	6	5	5	4	3	2
средняя	5	5	4	4	3	2
низкая	5	4	4	3	3	2
очень низкая	4	3	3	3	2	2
незначи- тельная	3	2	2	2	2	1

Основным результатом применения предложенной методики являются ГИС-карты типов уязвимости отдельных реципиентов и карта общей уязвимости. Для построения карт с целью выбора наиболее уязвимых регионов нужно определить классы степени уязвимости. Индекс уязвимости изменяется от 0 (отсутствие уязвимости) до 1 (наивысшая уязвимость в рассматриваемой области). Интервалы для выделения классов уязвимости могут быть определены разными методами (например, равные интервалы, алгоритм естественных границ Дженкса и т.д.), которым приписывается качественная оценка (низкая, средняя, высокая). Например, если разделить уровень уязвимости на пять классов методом равных интервалов, то первый класс, который представляет наибольшую уязвимость, будет иметь нормализованное значение индекса уязвимости от 0.8 до 1.

Для каждого реципиента карты синтезируются путем сложения индексов всех типов уязвимости, характерных для этого реципиента: $V_r = \sum_i V_{ir}$. На финальном шаге синтезированные индикаторы уязвимости всех реципиентов аналогичным образом совмещаются для получения итоговой карты уязвимости, которая включает информацию по каждому типу уязвимости из таблицы 1. Это позволяет использовать ее для описания наиболее уязвимых геообъектов и для обеспечения планирования мероприятий по повышению безопасности морехозяйственной деятельности.

В последние годы оценка рисков опасных природных явлений стала одной из основных тем, представляющих интерес для специалистов разного профиля во всем мире. Сами по себе природные процессы не представляют риска до тех пор пока они не начинают угрожать объектам, имеющим определенную ценность. Поэтому для определения величины потенциального ущерба важно иметь представление об уязвимости объектов, подверженных опасным природным яв-

ниям. Предлагаемая методика позволяет оценить уязвимость прибрежной зоны на уровне муниципальных образований на основе показателей подверженности воздействию разных опасностей, чувствительности реципиентов и адаптивных способностей региона.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-60043 мол_а_дк.

Список литературы

1. Fischlin A., Midgley G.F., Price J.T., Leemans R., Gopal B., Turley C., Rounsevell M.D.A., Dube O.P., Tarazona J., Velichko A. Climate Change 2007. Working Group II report: Impacts, Adaptations, and Vulnerability. IPCC, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007.
2. Gundlach E.R., Hayes M.O. Vulnerability of coastal environments to oil spill impacts // Marine Technology Society Journal. 1978. V. 12. N 4. p. 18–27.
3. Шавыкин А.А., Калинка О.П., Сапрыгин В.В., Зырянов С.В. Оценка интегральной уязвимости Баренцева моря к нефтяному загрязнению // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2008. № 3. с. 13–22.
4. Smit B., Pilifosova O. Adaptation to Climate Change in the Context of Sustainable Development and Equity // Chapter 18 in Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability— Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. 2001.
5. Кулыгин В.В. Подход к оценке рисков опасных природных явлений в морехозяйственных системах // Проблемы анализа риска. 2017. Т. 14. № 2. С. 64–73.

DEVELOPMENT OF THE METHOD FOR ASSESSING THE VULNERABILITY OF MARINE ECONOMIC ACTIVITY TO NATURAL HAZARDS

V.V. Kulygin

Federal Research Center The Southern Scientific Centre of the Russian Academy
of Sciences, Rostov-on-Don
kulygin@ssc-ras.ru

Abstract – In recent years, the assessment of the natural hazards' risks has become one of the main research topics for specialists of various profiles throughout the world. A study of the vulnerability of exposed objects is increasingly being used in planning and managing. This paper considers the approach to assessing the vulnerability of areas with marine economic activities to natural hazards. The basic unit for assessing the territory vulnerability is a geo-object. It was define as municipality along the coastline. The main types of economic activity, population and ecosystems were chosen as risk recipients. The vulnerability index is calculated on the basis of variables characterizing such components as exposure, sensitivity and adaptive capacity. Evaluation is carried out sequentially at all hierarchical levels of the geoobject. The main result of applying the proposed methodology are GIS maps of the different vulnerability types of individual recipients and the general vulnerability map. The final map can be used to provide planning for measures to improve the security of marine economic activities.

Keywords: vulnerability, marine economic activity, natural hazards

References:

1. Fischlin A., Midgley G.F., Price J.T., Leemans R., Gopal B., Turley C., Rounsevell M.D.A., Dube O.P., Tarazona J., Velichko A. 2007. Climate Change 2007. Working Group II report: Impacts, Adaptations, and Vulnerability. IPCC, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
2. Gundlach E.R., Hayes M.O. 1978. Vulnerability of coastal environments to oil spill impacts. Marine Technology Society Journal. 12(4): 18–27.
3. Shavykin A.A., Kalinka O.P., Saprygin V.V., Zyryanov S.V. 2008. [Assessment of the integral vulnerability of the Barents Sea to oil pollution] Environmental protection in the oil and gas sector. 3: 13–22. (In Russian).
4. Smit B., Pilifosova O. 2001. Adaptation to Climate Change in the Context of Sustainable Development and Equity. Chapter 18 in Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability— Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
5. Kulygin V.V. 2017. [The approach to assessing the risks of natural hazards in economic marine systems] Issues of Risk Analysis. 14(2): 64–73. (In Russian).