

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ОКЕАНА

УДК 551.59

DOI: 10.22449/0233-7584-2022-3-256-275

Ансамбли опасных гидрометеорологических явлений: нормативно-правовые аспекты, терминология и классификация (обзор)

Н. А. Яицкая^{1, 2, ✉}, А. А. Магаева²

¹ Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр
Российской академии наук», Сочи, Россия

² Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук,
Ростов-на-Дону, Россия
✉ yaitskayan@gmail.com

Поступила в редакцию 27.12.2021; одобрена после рецензирования 28.02.2022;
принята к публикации 15.03.2022

Аннотация

Цель. Выполнен анализ современного состояния исследований и достижений в области опасных природных и гидрометеорологических явлений и их ансамблей (мультиопасных явлений) на материале статей, опубликованных в профильных рейтинговых международных и российских научных журналах, и монографий.

Методы и результаты. Рассмотрены нормативно-правовые документы, регламентирующие терминологию в области опасных и мультиопасных природных и гидрометеорологических явлений, различия в принятой терминологии; существующие классификации мультиопасных гидрометеорологических явлений, методы классификаций и возможные перспективы их использования, пороговые значения опасности и методы их расчета; результаты исследований мультиопасных гидрометеорологических явлений на основе данных натурных наблюдений и глобального реанализа. Отдельное внимание уделено современному этапу развития естественных и точных наук в России, вносящих вклад в предотвращение и прогнозирование опасных гидрометеорологических явлений.

Выводы. С увеличением повторяемости опасных природных явлений с начала XXI в. и развитием информационных технологий, таких как создание электронных баз данных, геоинформационных систем, использование спутниковой информации и математического моделирования, появилась возможность анализировать, прогнозировать, оценивать и минимизировать (хоть и в неполной мере) последствия проявлений этих явлений. Показано, что решение проблем прогнозирования, мониторинга и минимизации последствий опасных природных явлений и их сочетаний требует междисциплинарных решений и взаимодействия между всеми заинтересованными сторонами – обществом, властью, наукой, бизнесом. Важно разрабатывать и внедрять планы по интегрированному управлению в регионах, особенно подверженных рискам. Большая проблема, по нашему мнению, заключается в том, что в российской и мировой науке существует большое несоответствие между выводами фундаментальных исследований и решениями, принимаемыми органами власти.

Ключевые слова: опасные природные явления, шторм, лед, паводки, геоинформационные системы, математическое моделирование, реанализ, система поддержки принятия решений, планирование, управление риском

Благодарности: исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-15-50320.

© Яицкая Н. А., Магаева А. А., 2022

Для цитирования: Яицкая Н. А., Магаева А. А. Ансамбли опасных гидрометеорологических явлений: нормативно-правовые аспекты, терминология и классификация (обзор) // Морской гидрофизический журнал. 2022. Т. 38, № 3. С. 256–275. doi:10.22449/0233-7584-2022-3-256-275

Ensembles of Hazardous Hydrometeorological Phenomena: Legal and Regulatory Aspects, Terminology and Classification (Review)

N. A. Yaitskaya^{1,2,✉}, A. A. Magaeva²

¹ Federal research centre the Subtropical scientific centre of RAS, Sochi, Russia

² Federal research centre the Southern scientific centre of RAS, Rostov-on-Don, Russia

✉ yaitskayan@gmail.com

Abstract

Purpose. The article represents the analysis of current state of research and achievements in the field of hazardous natural and hydrometeorological phenomena, and their ensembles (multi-hazardous phenomena) based on the papers published in the specialized international and Russian scientific journals and monographs.

Methods and Results. Normative legal documents regulating terminology in the field of hazardous and multi-hazardous natural and hydrometeorological phenomena, differences in the adopted terminology; existing classification of the multi-hazardous hydrometeorological phenomena, classification methods and possible prospects for their application, hazard threshold values and the methods for their calculation; results of the studies of multi-hazardous hydrometeorological phenomena based on the field observations data and global reanalysis are considered. Special attention is paid to the current stage of development of natural and exact sciences in Russia which contribute to preventing and forecasting of hazardous hydrometeorological phenomena.

Conclusions. With increase in the recurrence of hazardous natural phenomena since the beginning of the 21st century and the development of information technologies, such as creation of electronic databases, geoinformation systems, application of satellite information and mathematical modeling, it became possible to analyze, forecast, evaluate and minimize (albeit incompletely) the consequences of such phenomena. It is shown that solution of the problems including forecasting, monitoring and minimizing the consequences of hazardous natural phenomena and their combinations requires interdisciplinary solutions, on the one hand, and interaction between all the stakeholders – society, government, science and business, on the other. It is important to develop and implement an integrated management in the regions that are particularly at risk. A significant problem, in our opinion, consists in the fact that both in Russian and world science there is a large gap between the fundamental research and the decisions taken by the authorities.

Keywords: hazardous natural phenomena, storm, ice, flood, geographic information system, mathematical modeling, reanalysis, decision support system, planning, risk management

Acknowledgements: the study was carried out with the RFBR financial support, project No. 20-15-50320.

For citation: Yaitskaya, N.A. and Magaeva, A.A., 2022. Ensembles of Hazardous Hydrometeorological Phenomena: Legal and Regulatory Aspects, Terminology and Classification (Review). *Physical Oceanography*, 29(3), pp. 237-256. doi:10.22449/1573-160X-2022-3-237-256

Введение

Согласно специальному докладу «Управление рисками экстремальных явлений и бедствий для содействия адаптации к изменению климата» Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), в мире приблизительно с 1950 г. наблюдается увеличение повторяемости природных опасностей, причиной которых является изменение климата. С 1998 по 2017 г., по информации из базы данных о чрезвычайных ситуациях (*Emergency Events Database*), стихийные бедствия повлекли за собой экономические потери примерно в 3 трлн долларов и 1,3 млн человеческих жертв, пострадали более 4,4 млрд человек ¹.

На территории России увеличение числа опасных явлений (ОЯ), нанесших значительный ущерб экономике и населению, наблюдается с середины 1990-х гг. С начала 2000-х гг. число и масштабность природных катастроф возросли примерно в пять раз, а их опасность – в девять раз [1]. При этом ОЯ стали более интенсивными и разрушительными, чем ранее, и влекут за собой техногенные чрезвычайные ситуации. Ежегодный ущерб от воздействия опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлений в нашей стране составляет не менее 30–60 млрд рублей ².

Последствия роста числа стихийных бедствий, связанных с климатическими изменениями ¹, могут усугубляться на фоне увеличения периодичности опасных явлений в отдельных регионах и их более экстремальных проявлений [2], роста и так большой доли проживающего в зонах возникновения опасных явлений населения мира. Прогнозируется, что к 2050 г. население Земли достигнет 9,2 млрд человек [3], и растущая изменчивость окружающей среды в связи с более высокой частотой и серьезностью экстремальных явлений, вероятно, станет важным последствием изменения климата [4].

В этом контексте возрастает актуальность разработки и принятия на мировом уровне единого подхода к оценке климатических изменений в различных пространственных масштабах с учетом множественных рисков (мультириски) (например, [5, 6]). В специальном отчете об экстремальных явлениях и стихийных бедствиях ³ МГЭИК указывает, что учет мультиопасных явлений позволит обеспечить принятие более эффективных мер по сокращению негативных последствий и адаптации жизни людей в условиях возможных катастроф.

¹ EM-DAT: The International Disaster Database : [site]. URL: www.emdat.be/ (date of access: 15.04.2022).

² Доклад о научно-методических основах для разработки стратегий адаптации к изменениям климата в Российской Федерации (в области компетенции Росгидромета) / Под ред. В. М. Катцова, Б. Н. Порфирьева ; [Е. И. Хлебникова, Е. М. Акентьева, С. Ю. Гаврилова и др.]. Санкт-Петербург ; Саратов : Амирит, 2020. 120 с. URL: <http://cc.voikovmgo.ru/images/dokumenty/2020/dokladRGM.pdf> (дата обращения: 15.05.2022).

³ Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation : special report of the intergovernmental panel on climate change / Eds. C. B. Field, V. Barros, T. F. Stocker [et al.]. Cambridge : Cambridge University Press, 2012. 582 p. URL: <https://www.ipcc.ch/report/managing-the-risks-of-extreme-events-and-disasters-to-advance-climate-change-adaptation/> (date of access: 19.04.2022).

На глобальном и европейском уровнях в последние десятилетия возрос интерес к оценке множественных рисков, особенно в отношении инициатив, связанных с оценкой рисков возникновения различных ОЯ природного и техногенного характера ⁴, к анализу мультиопасных ⁵ явлений [7, 8].

Концепция мультиопасных явлений впервые была предложена в 1992 г. на конференции в Рио-де-Жанейро ⁶. Затем в Йоханнесбургском Плане выполнения решений Всемирной встречи на высшем уровне по устойчивому развитию в 2002 г. ⁷ был рассмотрен комплексный подход к управлению рисками бедствий и снижению рисков при возникновении мультиопасных явлений. Далее эти феномены обсуждались на заседаниях в Хёго (2005 г.) ⁸ и Сендае (2015 г.) ⁹. Учет множественных рисков был определен как важный элемент различных документов на европейском и глобальном уровнях [9, 10].

В зарубежной научной литературе можно встретить термин *multi-hazards* – мультиопасные явления (ансамбли опасных явлений). Исследуются сами явления, их последствия, уделяется больше внимания разработке планов эвакуации, взаимодействия властей и местных жителей, также оценке социально-экономических последствий таких событий. При этом многие авторы отмечают отсутствие универсальной терминологии для всего научного сообщества. В настоящее время нет четкого определения терминов «мультириск» и «мультиопасность» ни в научной литературе, ни в практической деятельности; принятие решений в условиях мультириска – зарождающаяся область исследования [11].

Вместе с тем, поскольку изменение климата, вероятно, изменит пороги опасности, частоту, период повторяемости и пространственное распределение

⁴ ESPON Project 1.3.1: The spatial effects and management of natural and technological hazards in general and in relation to climate change [ESPON HAZARD PROJECT] // ESPON : [site]. URL: <https://www.espon.eu/programme/projects/espon-2006/thematic-projects/spatial-effects-natural-and-technological-hazards> (date of access: 05.05.2022) ; MATRIX Framework for multi-risk assessment / N. Farokh [et al.] // New Multi-Hazard and Multi-Risk Assessment Methods for Europe / W. Aspinall [et al.]. Helmholtz Centre Potsdam GFZ German Research Centre for Geosciences, 2014. P. 31–36. (MATRIX Reference Reports). URL: <https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/11194/1/XO-14-026.pdf> (date of access: 12.05.2022) ; FEMA.gov : An official website of the U.S. Department of Homeland Security. URL: <http://www.fema.gov/> (date of access: 05.05.2022).

⁵ Garcia-Aristizabal A., Marzocchi W. Dictionary of the terminology adopted. Deliverable 3.2. MATRIX project (Contract n 265138). 2012 ; Garcia-Aristizabal A., Marzocchi W. Bayesian multi-risk model: demonstration for test city researchers. Deliverable 2.13. CLUVA project (Contract n265137). 2012.

⁶ Доклад Конференции Организации Объединенных Наций по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 3–14 июня 1992 года). Том 1 : Резолюции, принятые на Конференции. Нью-Йорк : ООН, 1993. P. 3–14. URL: <https://digitallibrary.un.org/record/160453> (дата обращения: 01.05.2022).

⁷ Доклад Всемирной встречи на высшем уровне по устойчивому развитию. Нью-Йорк : ООН, 2002. 212 с. Нью-Йорк : URL: <https://docs.cntd.ru/document/901893000> (дата обращения: 01.05.2022).

⁸ Доклад Всемирной конференции по уменьшению опасности бедствий Кобе, Хиого, Япония, 18–22 января 2005 года. Нью-Йорк : ООН, 2005. 64 с. URL: https://www.preventionweb.net/files/1037_finalreportwcdrrussian1.pdf (дата обращения: 01.05.2022).

⁹ Сендайская рамочная программа по снижению риска бедствий на 2015–2030 гг. Нью-Йорк : ООН, 2015. 40 с. URL: https://www.preventionweb.net/files/43291_russiansendaiframeworkfordisasterri.pdf (дата обращения: 01.05.2022).

различных климатических и природных переменных¹⁰, необходимо учитывать вклад климатических изменений в будущих решениях. Очень немногие методологии прогнозирования будущих рисков и принятия решений опираются на сценарии изменения климата, учитывающие будущие экологические риски и стихийные бедствия. При этом отсутствие научно обоснованного подхода к оценке будущих изменений климата с учетом мультиопасных природных явлений и множественных рисков может привести к дезадаптации (т. е. к увеличению уязвимости или подверженности другим видам опасностей) [6].

Несмотря на развитие различных систем, использующих технологии обучения и прогнозирования смягчения последствий стихийных бедствий, эффективное прогнозирование стихийных бедствий и управление рисками их возникновения по-прежнему остается проблемой во всем мире.

В настоящей работе на основе анализа отечественной и зарубежной научной литературы, изданной с 2005 по 2021 г., рассмотрены:

- 1) нормативно-правовые документы, регламентирующие терминологию в области мультиопасных природных и гидрометеорологических явлений;
- 2) существующие классификации мультиопасных гидрометеорологических явлений, методы выполнения классификаций, пороговые значения опасности и методы их расчета;
- 3) исследования мультиопасных гидрометеорологических явлений на основе результатов натурных наблюдений.

1. Материалы и методы

Для работы были отобраны научные публикации из полнотекстовой коллекции электронных журналов издательств *Elsevier*, *Springer* и научной электронной библиотеки *E-Library*. Поиск осуществлялся на платформах этих издательств и в международных научных базах данных *Scopus* и *Web of Science* по ключевым словам на английском и русском языках «опасные природные явления», «мультиопасные явления», «шторм», «нагон», «паводок», «лед», «реанализ», «база данных», «система поддержки принятия решений», «математическое моделирование», «планирование», «правительство», «управление риском», «уязвимость». Поиск охватывал временной период с 2005 по 2021 г. Было выбрано 311 статей и монографий на английском языке и 49 – на русском.

Основной объем информации получен из журналов: «Океанология», «Водные ресурсы», «Метеорология и гидрология», «*Progress in Oceanography*», «*Mathematical Modeling*», «*Oceanologia*», «*Ocean Modeling*», «*Journal of Marine Systems*», «*Ocean and Coastal Management*», «*Marine Policy*», «*Coastal Engineering*», «*Cold Region Science and Technology*», «*International Journal of Disaster Risk Reduction*», «*Quaternary Science Reviews*», «*Environmental Impact Assessment Review*», «*Weather and Climate Extremes*», «*Journal of Environmental Management*» и др. Наибольшее количество научных статей найдено по оценке

¹⁰ Summary for policymakers / C. B. Field [et al.] // Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK ; New York, USA : Cambridge University Press, 2014. P. 1–32. URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-PartA_FINAL.pdf (date of access: 19.04.2022).

риска и управлению рисками, системам предупреждения и прогнозирования опасных природных явлений (ОПЯ), наводнениям, штормовому волнению. В литературный обзор вошло 224 научных работы на английском языке и 32 – на русском.

2. Терминология в области мультиопасных природных и гидрометеорологических явлений

Вопросами опасных явлений как природного, так и техногенного характера озабочены ведущие мировые организации – МГЭИК (IPCC), Всемирная метеорологическая организация (ВМО), Организация объединенных наций (ООН). Решение проблем, связанных с неупорядоченностью терминологии, стало приоритетной задачей Управления ООН по снижению риска бедствий (*UNDRR*, ранее *UNISDR*) после принятия Хиогской рамочной программы действий 2005–2015⁸ и документа «2009 *UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction*»¹¹. Впоследствии Сендайская рамочная программа действий 2015–2030⁹ дополнила предыдущие публикации и охватила вопросы, касающиеся возникновения не только мелко- и крупномасштабных опасностей с различной частотой и скоростью распространения, вызываемых природными факторами или антропогенной деятельностью, но и связанных с ними экологических, техногенных и биологических угроз и рисков [12].

Согласно международному стандарту *ISO 31000:2018*, риск определяется как «влияние неопределенности в отношении объекта» или «комбинация вероятности того, что событие произойдет, и его исхода». Вероятность того, что событие произойдет, зависит от источника бедствия и его свойств, а результат связан с уязвимостью, которая влияет на масштаб ущерба и способность уменьшить ущерб.

В ходе выполнения настоящего исследования и анализа литературы было найдено множество различных определений для одних и тех же процессов и явлений (см. приложение). Они не противоречат друг другу, но нетрудно заметить порой значимые различия.

На территории Российской Федерации основные понятия, термины и определения, касающиеся опасных природных процессов или явлений, а также действия по их предупреждению, прогнозированию и ликвидации регламентируются Федеральным законом от 19 июля 1998 г. № 113-ФЗ «О гидрометеорологической службе»; Федеральным законом от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»; ГОСТ Р 22.0.03-97 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения».

В каждом из нормативных документов определение опасного явления отличается от других. Так, Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ (ред. от 02.07.2013)¹² определяет **опасные природные процессы и явления** как «землетрясения, сели, оползни, лавины, подтопление территории, ураганы, смерчи,

¹¹ Терминологический глоссарий UNISDR. Женева, Швейцария : ООН, 2009. 43 с. URL: https://www.preventionweb.net/files/7817_UNISDRTerminologyRussian.pdf (дата обращения: 01.05.2022).

¹² Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федеральный закон № 384-ФЗ от 30.12.2009 г. (ред. от 02.07.2013) // Собрание законодательства РФ. 2010. 04 янв. Вып. 1. Ст. 5. URL: <https://www.szrf.ru/szrf/doc.php?nb=100&issid=1002010001000&docid=5> (дата обращения: 05.05.2022).

эрозия почвы и иные подобные процессы и явления, оказывающие негативные или разрушительные воздействия на здания и сооружения». В соответствии с Федеральным законом от 02.02.2006 г. № 21-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О гидрометеорологической службе», **опасное природное явление** – это «гидрометеорологическое или гелиогеофизическое явление, которое по интенсивности развития, продолжительности или моменту возникновения может представлять угрозу жизни или здоровью граждан, а также может наносить значительный материальный ущерб». В соответствии с ГОСТ Р 22.0.03-97 **опасное природное явление** – «событие природного происхождения или результат деятельности природных процессов, которые по своей интенсивности, масштабу распространения и продолжительности могут вызвать поражающее воздействие на людей, объекты экономики и окружающую природную среду»¹³. В ГОСТ Р 22.0.03-97 дано также определение **стихийного бедствия** – это «разрушительное природное и (или) природно-антропогенное явление или процесс значительного масштаба, в результате которого может возникнуть или возникла угроза жизни и здоровью людей, произойти разрушение или уничтожение материальных ценностей и компонентов окружающей природной среды».

В РД 52.04.563-2013 к **гидрометеорологическим ОПЯ** относятся отдельные гидрометеорологические явления или их сочетания, которые могут представлять угрозу жизни или здоровью граждан, а также могут нанести материальный ущерб¹⁴.

3. Классификации мультиопасных гидрометеорологических явлений

В широком смысле ОЯ разделяются по происхождению, продолжительности, масштабу, последствиям. Наибольшее количество вариантов типологий – по происхождению (таблица). Опасности могут быть естественными (землетрясение, сейсмические воздействия, наводнения и т. д.), технологическими (обрушение плотины, химический взрыв и т. д.), вызванными антропогенными факторами (удаление растительности, разработка полезных ископаемых, осушение и т. д.). Различные ОЯ могут угрожать одним и тем же элементам, подверженным риску. Некоторые авторы отмечают, что по своей сути все опасности являются антропогенными, поскольку уровень опасности измеряется в сумме ущерба для человека [12].

Опасности могут быть одиночными, последовательными (опасность, вызванная другим явлением или эффект домино), комбинированными (мультиопасности) по последствиям; могут увеличиваться или уменьшаться в зависимости от первоначального события; могут быть связаны в пространстве или по времени; могут увеличивать уязвимость элементов, подверженных риску. Они могут происходить как последовательно, так и параллельно [13].

¹³ Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения : ГОСТ 22.0.03-97 ; ГОСТ Р 22.0.03-95. Введ. 1996-07-01. Минск : ИПК Издательство стандартов, 2000. 16 с.

¹⁴ Инструкция по подготовке и передаче штормовых сообщений наблюдательными подразделениями : РД 52.04.563-2013. СПб., 2013. 52 с.

Кроме того, опасности можно разделить на быстро возникающие интенсивные события ограниченной продолжительности (короткие, резкие потрясения, такие как оползни, иногда называемые острыми опасностями (*acute hazards*)) и медленно возникающие, широко распространенные явления, которые часто затрагивают большие территории в течение более длительных периодов времени (например, засуха, иногда называемая хронической опасностью (*chronic hazards*)).

**Классы опасных явлений по происхождению
согласно различным источникам
Classes of natural hazards by origin according to various sources**

Классы / Classes	Источники / Sources						Отчет ¹⁶ / Report ¹⁶ [17, 18]
	Отчет ¹⁵ / Report ¹⁵	Отчет ¹⁶ / Report ¹⁶	[14]	[15]	[16]	[17]	
Антропогенные / Anthropogenic			X		X		
Биологические / Biological	X		X			X	X
Внеземные / Extraterrestrial							X
Геофизические / Geophysical	X	X					X
Гибридные / Смешанные / Hybrid / Mixed				X	X		
Гидрологические / Hydrological		X	X				X
Глобальные / Global						X	
Климатические / Climatic	X	X	X				X
Метеорологические / Meteorological	X	X					X
Природные / Natural				X	X	X	
Социальные / Social				X		X	
Тектонические / Tectonic			X				
Технологические / Technological				X		X	
Физиографические / (антропогенные и природные) / Physiographic (anthropogenic and natural)			X				
Химические / Chemical			X				

Некоторые авторы считают разделение ОПЯ по различным признакам формальным и отмечают, что их невозможно встретить в мире в чистой форме [19]. Опасности различных типов могут влиять друг на друга, и их лучше описывать как квазиестественные или смешанные (гибридные) опасности. Социальные и технологические опасности, оказывающие влияние на природную среду, порождают квазиестественные опасности. Гибридные опасности являются продуктом взаимосвязи между социальными и технологическими явлениями, в то время как экологические опасности являются результатом взаимодействия между тремя элементами (природными, социальными и технологическими) [15].

¹⁵ Guha-Sapir D., Hoyois P. Existing databases on disaster impacts // Measuring the human and economic impact of disasters : report. London : UK Government Office of Science, 2012. Chapter 2. P. 6–13. URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/286966/12-1295-measuring-human-economic-impact-disasters.pdf (date of access: 24.05.2022).

¹⁶ Peril Classification and Hazard Glossary : DATA project report no. 1. Beijing : IRDR, 2014. URL: https://irdrinternational.org/uploads/files/2020/08/2h6G5J59fs7nFgoj2z7hNAQgLCgG55evfT8jBNi/IRDR_DATA-Project-Report-No.-1.pdf (date of access: 24.05.2022).

Каждая опасность характеризуется географическим положением, интенсивностью, частотой и вероятностью. В каждой стране существуют отдельные классификации в зависимости от преобладающих опасностей, разработаны градации ОЯ (пороговые значения) по степени их воздействия и методики дифференцирования таких явлений. Развиваются также методы классификации и оценки рисков различных опасностей.

Большинство методологий классификаций ОПЯ являются проблемно ориентированными и направлены на оценку последствий на национальном, региональном или местном уровне. Их применение требует обработки и анализа огромных массивов данных. В большинстве методов применяются исторические данные (например, проект *ESPON*¹⁷, см. работу [11]) и картографическая информация, отражающие потенциально подверженные риску компоненты среды и их характеристики (например, [20, 21]. При этом сценарии будущих изменений климата не рассматриваются [6].

4. Методы классификации ОПЯ

В рамках европейского проекта *ARMONIA*¹⁸ (*Applied multi Risk Mapping of Natural Hazards for Impact Assessment*) (2004–2007 гг.), целью которого была разработка единой методологии для создания карт различных типов опасностей и рисков, а также инструментов поддержки принятия решения для управления рисками, был разработан метод классификации интенсивности опасности (низкая, средняя и высокая), что позволяет сравнить «важность» опасностей и определить последствия при пространственном планировании.

В Швейцарии применяют классификационный подход к оценке опасностей. На первом этапе определяют тип опасностей, их величину (высокая, средняя, низкая) и вероятность (высокая, средняя, низкая и очень низкая) для конкретного района. Затем выполняется классификация результатов в соответствии с диаграммой величина – вероятность (диаграмма уровня опасности). Итогом является карта опасностей с указанием уровня опасности [22]. Авторы работы [23] для оценки опасности также используют метод классификации, но уровень опасности в зонах перекрытия определяют не по максимуму перекрывающихся классов, а с помощью матрицы.

Многокритериальный анализ решений (*Multiple-Criteria Decision Analysis*, сокр. *MCDCA*) – широко применяемый метод принятия решений при наличии нескольких критериев. Его используют для комплексного планирования землепользования в районах, подверженных оползням [24], для оценки уязвимости территорий к засухе [25], построения зон затоплений [26], оценки природных рисков [27].

Методика определения порядка предпочтения по сходству с идеальным решением (*The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*, сокр. *TOPSIS*) используется для оценки удаленности показателей от изначально

¹⁷ ESPON Project 1.3.1: The spatial effects and management of natural and technological hazards in general and in relation to climate change [ESPON -HAZARD PROJECT]. URL: <https://www.espon.eu/programme/projects/espon-2006/thematic-projects/spatial-effects-natural-and-technological-hazardshttps://www.espon.eu/> (date of access: 05.03.05.2021/2022).

¹⁸ URL: http://www.eurosfair.eurosfair.eurosfair.fr/7pc/doc/1271840032_armonia_fp6_multiple_risks.pdf (date of access: 12.05.2022).

определенных идеальной и антиидеальной точек по отдельности, затем эти два показателя преобразуются в одну общую оценку [28]. В работе [29] метод *TOPSIS* применен для выявления потенциальных стихийных бедствий в городе Бендер-Аббас, Иран. Интеграция метода в ГИС позволила авторам исследования [30] создать карты опасности и риска землетрясений в Стамбуле, а авторам работы [31] – оценить уязвимость от наводнений в Южной Корее и т. д.

Концепция «Движущие факторы – нагрузки – состояние – воздействие – реакция» (*Driving forces – Pressure – State – Impact – Response*, сокр. *DPSIR*) была принята Европейским агентством по окружающей среде (ЕАОС) в 1999 г. Этот метод предназначен для выявления причинно-следственных связей и систематизации информации с целью решения проблем в сфере окружающей среды и рассматривает социально-экономические и природные системы в тесной взаимосвязи ¹⁹. С помощью этого метода выполнен анализ риска ОПЯ в прибрежных районах [32], проанализированы процессы эрозии, вызванные штормами и наводнениями [33].

Колесо прибрежных опасностей (*Coastal Hazard Wheel*, сокр. *CHW*) – система классификации, разработанная для оценки и управления мультиопасными природными явлениями на прибрежных территориях. В основе системы – наиболее важные биогеофизические компоненты, которые принимаются общими в пределах конкретного участка прибрежной среды [34]. Метод применяют для оценки эрозии на побережье Мальты [35] и Карибского побережья Колумбии [36], нарушения прибрежных экосистем Джибути [34].

Следует отметить, что в России разрабатываемые классификации не имеют специальных названий, их можно идентифицировать только по авторскому коллективу и ни одна из них не нашла широкого применения. В научной литературе авторы при описании ОЯ зачастую не опираются на общероссийскую классификацию Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) и МЧС. Между тем Росгидромет определил типовой перечень ОПЯ с конкретными количественными характеристиками опасности, составленный с учетом рекомендаций ВМО ¹⁴. Для каждого субъекта Российской Федерации перечень и пороги опасности варьируются. На основании этого перечня территориальные органы разрабатывают региональные перечни и критерии ОПЯ с учетом природно-климатических особенностей и хозяйственно-экономических условий.

5. Индексы

Для комплексной оценки последствий ОПЯ применяются различные индексы:

- индекс аридности (соотношение количества осадков к потенциальной эвапотранспирации) – используется для оценки изменения климата в отдельных районах;
- нормализованный разностный индекс растительности (*NDVI*) – для оценки количества фотосинтетически активной биомассы;
- тепловой индекс (*HI*), объединяющий температуру и влажность воздуха;

¹⁹ Стратегический подход к мониторингу и оценке трансграничных рек, озер и подземных вод. Нью-Йорк ; Женева : ООН, 2006. 32 с. URL: https://unece.org/DAM/env/water/publications/documents/SMA_r.pdf (дата обращения: 12.05.2022). МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ том 38 № 3 2022 265

– индекс экологической эффективности (EPI) – метод количественной оценки и сравнительного анализа показателей экологической политики государств мира и др.;

– универсальный индекс термического климата (*UTCI*), введенный в 1994 г., учитывает температуру по сухому термометру, относительную влажность, солнечную радиацию и скорость ветра и считается эталонной температурой окружающей среды [37];

– физиологическая эквивалентная температура (*PET*) – один из наиболее часто используемых показателей для измерения теплового стресса на открытом воздухе [38];

– температура влажного шарика психрометра (*WBGT*) – предложена К. Яглу и Д. Минард (1957 г.) в качестве наиболее часто используемого показателя теплового стресса [39]. Четыре параметра (температура по сухому термометру, относительная влажность воздуха, скорость ветра и тепловое излучение) учитываются при расчете этого индекса, что делает его более точным по сравнению с другими простыми тепловыми индексами;

– индекс риска стихийных бедствий (*Disaster Risk Index*, сокр. *DRI*) отслеживает эволюцию риска [40]: для каждой зоны выявляются взаимосвязи по типам опасности в соответствии со степенью воздействия, относительной уязвимостью и риском²⁰. В рамках *DRI* уязвимость рассматривается как фактор, который описывает, почему люди, находящиеся в одном и том же состоянии, могут подвергаться большему или меньшему риску [40].

6. Методы оценки рисков мультиопасных природных явлений

Концепция мультиопасных явлений связана с анализом различных соответствующих опасностей, триггерных и каскадных эффектов, угрожающих одним и тем же подверженным воздействию компонентам среды с временным совпадением или без него [9].

Термин «уязвимость» впервые появился в 1970-х гг.²⁰, когда уязвимость была указана как истинная причина катастроф. Определение уязвимости для ОПЯ может быть применено к любой системе, которая взаимодействует с обществом. Не существует набора конкретных уязвимостей – есть только уязвимость, на которую влияют различные факторы (человеческие смерти, финансовые потери, качество жизни населения и др.). Отчасти уязвимость для ОЯ определяется социальной уязвимостью людей. Бедные или развивающиеся сообщества несут больший ущерб от стихийных бедствий из-за экономических и политических ограничений, ухудшения состояния окружающей среды [41].

Методологии оценки риска мультиопасных явлений выполняют агрегирование опасностей, оценку уязвимости [42], присвоение баллов и весов выявленным классам [21]. Результаты позволяют качественно классифицировать риск множественных опасностей.

²⁰ Reducing disaster risk: a challenge for development : a global report / Ed. M. Pelling. New York : Bureau for Crisis Prevention and Recovery, 2004, 161 p. URL: <https://www.undp.org/publications/reducing-disaster-risk-challenge-development> (date of access: 05.05.2022).

В проекте *MATRIX*²¹ предлагаются три различных метода для описания и количественной оценки взаимодействий опасных явлений: дерево событий, байесовские сети и моделирование методом Монте-Карло. Отдельные риски в рамках оценки множественных рисков вычисляются с использованием общей единицы измерения (например, потеря жизней, экономические потери) (см. работы [11, 20]). Это позволяет проводить прямое сравнение и агрегирование различных видов рисков. В результате применения обоих подходов выделяются области, подверженные различным общим классам риска (например, [7, 21]).

Для оценки риска мультиопасных природных явлений применяется соответственно метод оценки риска мультиопасных природных явлений (*Multi-Hazard Risk Assessment*, сокр. *MHRA*). Основным преимуществом *MHRA* является то, что он объединяет различные типы опасностей в единую систему для совместной оценки [20], учитывает параметры каждой природной опасности (вероятность, частота и величина), их взаимодействие и взаимосвязи (например, одна опасность может повторяться все время; разные опасности могут возникать независимо в одном и том же месте; различные опасности могут возникать в зависимости от одного и того же места) [20].

7. Исследования мультиопасных гидрометеорологических явлений на основе результатов натуральных наблюдений

ОПЯ, их повторяемость, закономерности возникновения и развития, возникающие последствия изучаются на основе различных исторических источников (личные архивы, СМИ, архивы страховых компаний), результатов натуральных наблюдений, данных дистанционного зондирования Земли, результатов математического моделирования. Данные наблюдений об ОПЯ представляют особый интерес, так как содержат уникальную информацию о произошедших событиях. При этом требуется особое внимание к контролю корректности значений ввиду изменения методик измерений на протяжении всего периода метеонаблюдений и неоднократного воспроизведения.

Некоторые авторы в своих работах дают обширный обзор существующих методов анализа опасных и мультиопасных природных явлений и подходов к нему и выделяют следующие основные проблемы: 1) различие характеристик процессов, затрудняющее сравнение нескольких опасностей, и 2) наличие отношений и взаимодействий между опасностями. ВМО создала Глобальную рамочную основу для климатического обслуживания (*Global Framework for Climate Services*, сокр. *GFCS*), которая координирует по всему миру действия по применению инструментов климатического обслуживания, повышению их качества и количества, а также по определению различных индексов, например индексов изменения климата от группы экспертов²² *CCL/WCRP/JCOMM* [43].

²¹ *MATRIX Framework for multi-risk assessment* / N. Farrokh [et al.] // *New Multi-Hazard and Multi-Risk Assessment Methods for Europe* : *MATRIX Reference Reports* / W. Aspinall [et al.]. Helmholtz Centre Potsdam GFZ German Research Centre for Geosciences, 2014. P. 31–36. URL: <https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/11194/1/XO-14-026.pdf> (date of access: 12.05.2022).

²² Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI) // WCRP : [site]. URL: <https://www.wcrp-climate.org/etccdi> (date of access: 12.05.2022) ; Expert Team on Sector-Specific Climate Indices (ET-SCI) // WMO : [site]. URL: <https://public.wmo.int/en/events/meetings/expert-team-sector-specific-climate-indices-et-sci> (date of access: 12.05.2022).

Базы данных

На глобальном уровне Всемирный банк [5] и Мюнхенское перестраховочное общество *Munich Re Group* ²³ проводят крупномасштабный анализ стихийных бедствий, визуализируя горячие точки с помощью простых индексов риска возникновения различных опасностей [6].

В Российской Федерации мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды осуществляет Росгидромет. В его обязанности входит также выпуск экстренной информации об ОПЯ, фактических и прогнозируемых резких изменениях погоды, загрязнении окружающей среды, которые могут угрожать жизни и здоровью населения и наносить ущерб природе. Ежегодно информация о произошедших опасных явлениях публикуется в печатных изданиях Росгидромета. Результаты мониторинга ОПЯ передаются в автоматизированную базу данных об ОЯ и неблагоприятных условиях погоды «Сведения об опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлениях, которые нанесли материальный и социальный ущерб на территории России», которая ведется с 1997 г. (пополняется ежедневно) ВНИИГМИ – МДЦ и является официальной в системе Росгидромета. В базе данных собраны сведения о метеорологических, гидрологических и агрометеорологических ОЯ, нанесших ущерб экономике и населению.

Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО) предоставляет данные об ОГЯ в виде приложения «Стихийные бедствия». Информация предоставлена на основе вышеупомянутой базы данных ВНИИГМИ – МДЦ. Существуют также локальные базы данных, такие как, например, ГИС «Опасные природные явления Воронежской области», база данных опасных явлений погоды Пермского края.

Международная база данных о катастрофах *EM-DAT* была создана при поддержке Всемирной организации здравоохранения (*World Health Organisation*, сокр. *WHO*) и правительства Бельгии и предоставляет информацию о воздействии стихийных бедствий на человека, например о количестве убитых, раненых или пострадавших, оценки экономического ущерба.

Европейская база данных о штормах (*European Severe Weather Database*, сокр. *ESWD*) собирает и проверяет отчеты о пыли, песке или парах, наблюдениях за торнадо, порывах ветра, сильном граде, сильном дожде и снегопаде, сильных порывах ветра, разрушительных ударах молний и лавинах по всей Европе и в Средиземноморье. *ESWD* – самая полная база данных по таким событиям в Европе.

Национальный центр экологической информации Национального управления океанических и атмосферных исследований США (*NOAA National Centers for Environmental Information*, *NCEI NOAA*) отвечает за мониторинг окружающей среды, сохранение и оценку национальных геофизических данных и информации, обеспечение публичного доступа к ним. Одна из задач центра – хранение и ассимиляция данных о цунами, землетрясениях и вулканах для поддержки их исследований, планирования действий при угрозах возникновения опасностей, быстрого реагирования на них и смягчения последствий.

Миссия Геологической службы США (*United States Geological Survey*, сокр. *USGS*) в отношении ОПЯ состоит в том, чтобы развивать науку об опасностях окружающего мира и применять ее для обеспечения безопасности

²³ URL: www.munichre.com (date of access: 12.05.2022).

и экономического благосостояния США. Научные исследования *USGS* помогают снизить риски стихийных бедствий и информировать о возможных будущих катастрофах, получить достоверные сведения о характеристиках опасных событий – их частоте, величине, степени, начале, последствиях и т. д.

В Италии с 1990 г. ведется база данных исторической информации об оползнях и наводнениях в стране – проект *AVI* Национального исследовательского совета, в которой представлены регулярные сведения с 1917 по 2000 г., нерегулярные для периодов с 1900 по 1916 г. и с 2001 по 2002 г. В эту базу включена информация о более чем 32 000 оползней, произошедших на более чем 21 000 участках, и о более чем 29 000 наводнений, произошедших более чем на 14 000 участках. Независимо от проекта *AVI* в Италии также разработана Информационная система по гидрологическим и геоморфологическим катастрофам *SICI* (*Sistema Informativo sulle Catastrofi Idrogeologiche*), которая в настоящее время является крупнейшим единым хранилищем исторической информации об оползнях и наводнениях в Италии.

Дистанционные наблюдения

Использование спутниковых данных адаптировано для мониторинга стихийных бедствий и получения важной информации до, во время и после событий. В настоящее время привлечение результатов спутникового мониторинга при борьбе с последствиями возникновения ОПЯ является обычной практикой [44, 45]. Это единственное средство, которое может предоставить крупномасштабные пространственно-распределенные наборы географически привязанных данных.

Н. Керле и К. Оппенгеймер [46] исследовали эффективность использования оптических и радиолокационных датчиков в качестве инструментов управления бедствиями в Лахаре. С. Войт в своем исследовании [44] применил эффективные методы анализа изображений на основе спутниковых данных из нескольких источников для оперативного создания карт при управлении стихийными бедствиями и кризисами. В исследовании также использовались спутниковые данные для быстрой оценки последствий от стихийных бедствий, произошедших в разных уголках Земли.

Работа, проделанная Д. Тралли [47], продемонстрировала, как данные спутникового мониторинга могут быть эффективно использованы в сочетании с математическим моделированием для прогнозирования и визуализации результатов, эффективного принятия решений в случае возникновения землетрясений, наводнений, оползней, извержений вулканов. В работе [48] показана эффективность борьбы со стихийными бедствиями в случае, когда результаты дистанционного зондирования сочетаются с другими технологиями, такими как ГИС и Глобальная навигационная спутниковая система (*GNSS*).

Л. Монтойя [49] разработал рентабельный и быстрый метод сбора данных для инвентаризации на основе дистанционного зондирования, глобальной системы позиционирования (*GPS*), цифрового видео (*DV*) и ГИС для управления городскими рисками. В работах [11, 48] показаны эффективные методы мониторинга и предотвращения последствий землетрясений, извержений вулканов, наводнений, оползней и прибрежных опасностей на основе сочетания результатов дистанционного зондирования Земли, ГИС и *GNSS*.

Мониторинг стихийных бедствий, обеспечиваемый визуализацией данных, собранных из различных источников, предоставляет общественности важную информацию о распространении стихийных бедствий и помогает подготовиться к их последствиям. Веб-служба визуализации, созданная Австралией на основе спутника *Sentinel*²⁴, предоставляет в открытом доступе графическую информацию о лесных пожарах, происходящих по всей Австралии.

Система мониторинга, разработанная К. Цзоу [50], способствует быстрому извлечению информации из спутниковых данных дистанционного зондирования Земли для подготовки к возможным сценариям бедствий. К. Бом с соавторами [51] предложили геовизуальные аналитические решения в секторе общественного здравоохранения для улучшения планирования подготовки и реагирования на чрезвычайные ситуации. *Climate Engine*, разработанный Д. Хантингтоном с коллегами [52], помогает визуализировать климатические данные в интерактивном графическом интерфейсе пользователя для подготовки к любым стихийным бедствиям. Д. Тралли с соавторами [47] сосредоточили внимание на использовании спутниковых данных дистанционного зондирования Земли при построении геопространственных моделей для мониторинга стихийных бедствий с целью эффективной подготовки к ним.

Заключение

С увеличением повторяемости ОПЯ с начала XXI в. и развитием информационных технологий, таких как создание электронных баз данных, ГИС, использование спутниковой информации и математического моделирования, появилась возможность анализировать, прогнозировать, оценивать и минимизировать (хоть и в неполной мере) последствия проявлений этих явлений.

Решение проблем прогнозирования, мониторинга и минимизации последствий возникновения ОПЯ и их сочетаний требует междисциплинарного подхода и особенно взаимодействия между всеми заинтересованными сторонами – обществом, властью, наукой, бизнесом. Важно разрабатывать и внедрять планы по интегрированному управлению в регионах, особенно подверженных рискам. Это требуется для устойчивого управления природно-техногенными системами, особенно в приморских районах, и касается устранения всего спектра опасностей, включая загрязнение окружающей среды, для защиты естественных сред обитания флоры и фауны, инфраструктуры, жилых районов и туристических дестинаций.

Важно развивать международную сеть наблюдений за природными явлениями и процессами по всему миру, включая территории с экстремальными условиями (Крайний Север, высокогорные области, пустыни). Это позволит отслеживать зарождение, развитие и эволюцию процессов, их трансформацию и распространение.

Большая проблема, по нашему мнению, заключается в том, что в России и в мире в целом существует большое несоответствие между выводами фундаментальных исследований и решениями, принимаемыми властными органами. Результаты фундаментальных работ становятся известны только узким специалистам, не доводятся до сведения соответствующих органов и служб и, соответственно, не применяются на практике.

²⁴ URL: <https://www.ga.gov.au/> (date of access: 02.05.2022).

**Термины и определения в области опасных и мультиопасных явлений
по данным различных источников**

Бедствие / экстремальное метеорологическое или климатическое явление / опасное явление:

– стихийное бедствие или антропогенное событие, повлекшее за собой широкомасштабные человеческие, экологические, экономические или материальные убытки. Неблагоприятные последствия стихийного бедствия могут превышать способность пострадавшего сообщества или общества справиться с ситуацией, используя собственные ресурсы (*Krausmann E., Cruz A., Salzano E. Natech risk assessment and management: reducing the risk of natural-hazard impact on hazardous installations. Elsevier, 2016. P. 241–243*);

– явление, которое редко наблюдается в конкретном месте и в конкретное время года. Метеорологическое явление обычно считается экстремальным, если наблюдается столь же редко или еще реже, чем 10-й или 90-й процентиль функции распределения вероятностей, оцениваемой по данным наблюдений (*Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation : special report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge, 2012. 582 p. ; Терминологический глоссарий UNISDR. Женева, Швейцария, 2009. 43 с.*);

– возникновение природного или антропогенного явления в определенном месте в течение определенного периода времени из-за наличия опасности (URL: <https://www.undrr.org/terminology>);

– гидрометеорологическое, геофизическое или обусловленное деятельностью человека событие, которое создает опасность какого-либо уровня для жизни, собственности или окружающей среды. Это обязательно суровые и экстремальные метеорологические и климатические явления (URL: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=7904).

Мультиопасности:

– несколько основных опасных явлений, которые наблюдаются в конкретной стране / опасные явления, которые могут происходить одновременно, каскадно или кумулятивно через промежуток времени и учитывая возможные взаимосвязанные эффекты (*Krausmann E., Cruz A., Salzano E. Natech risk assessment ... P. 241–243*);

– различные опасные события, угрожающие одним и тем же объектам (совпадение во времени) / опасные события, происходящие одновременно или вскоре следующие друг за другом (каскадные эффекты). Относится к совокупности соответствующих опасностей в определенной административной зоне (*Managing the risks ... 582 p. ; Терминологический глоссарий UNISDR ... 43 с.*);

– несколько основных опасных явлений, которые наблюдаются в конкретной стране / опасные явления, которые могут происходить одновременно, каскадно или кумулятивно через промежуток времени и учитывая возможные взаимосвязанные эффекты (URL: <https://www.undrr.org/terminology>).

Опасность:

– источник опасности. Опасность не обязательно ведет к причинению вреда, но предоставляет только возможность причинения вреда (*Krausmann E., Cruz A., Salzano E. Natech risk assessment ...* P. 241–243);

– физический феномен, связанный с климатическими изменениями (например, подъем уровня моря, штормовой нагон), который может нанести ущерб и убытки собственности, инфраструктуре, источникам средств к существованию, предоставлению услуг и экологическим ресурсам (*Managing the risks ...* 582 p. ; Терминологический глоссарий UNISDR ... 43 с.);

– потенциально опасное физическое событие, явление или человеческая деятельность, которые могут привести к гибели людей или травмам, имущественному ущербу, социальным и экономическим нарушениям или ухудшению состояния окружающей среды (URL: <https://www.undrr.org/terminology>).

Риск:

– сочетание частоты или вероятности возникновения и последствий опасного события. Таким образом, риск включает в себя вероятность преобразования опасности в фактическое нанесение телесных повреждений, ущерба или вреда. Риск всегда связан с неопределенностью, связанной с наступлением события (*Krausmann E., Cruz A., Salzano E. Natech risk assessment ...* P. 241–243);

– количественно оценивает и классифицирует потенциальные последствия опасных событий на исследуемых территориях и объектах воздействия (т. е. элементы, потенциально подверженные риску), сочетая опасность, подверженность и уязвимость. Он может быть выражен в вероятностном или относительном/полуколичественном выражении (*Managing the risks ...* 582 p. ; Терминологический глоссарий UNISDR ... 43 с.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бондур В. Г., Крапивин В. Ф., Савиных В. П.* Мониторинг и прогнозирование природных катастроф. М. : Научный мир, 2009. 690 с.
2. Observed variability and trends in extreme climate events: A brief review / D. R. Easterling [et al.] // *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2000. Vol. 81, iss. 3. P. 417–426. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(2000\)081<0417:OVATIE>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(2000)081<0417:OVATIE>2.3.CO;2)
3. *Bongaarts J.* Human population growth and the demographic transition // *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2009. Vol. 364, iss. 1532. P. 2985–2990. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0137>
4. *Middleton N. J., Sternberg T.* Climate hazards in drylands: A review // *Earth-Science Reviews*. 2013. Vol. 126. P. 48–57. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.07.008>
5. Natural disaster hotspots: A global risk analysis / M. Dillel [et al.]. Washington, DC : World Bank, 2005. 132 p. URL: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/7376> (date of access: 19.04.2022).
6. A review of multi-risk methodologies for natural hazards: Consequences and challenges for a climate change impact assessment / V. Gallina [et al.] // *Journal of Environmental Management*. 2016. Vol. 168. P. 123–132. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.11.011>
7. *Bell R., Glade T.* Multi-hazard analysis in natural risk assessments // *Risk Analysis IV* / Edited by C. A. Brebbia. WIT Press, 2004. (WIT Transactions on Ecology and the Environment ; vol. 77). doi:10.2495/RISK040181. URL: <https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-ecology-and-the-environment/77/14298> (date of access: 19.04.2022).

8. *Glade T., van Elverfeldt K.* MultiRISK: An innovative concept to model natural risks // *Landslide risk management : Proceedings of the international conference on landslide risk management, Vancouver, Canada, 31 May-3 June 2005.* Leiden, Netherlands : A.A. Balkema, 2005. P. 551–555. <https://doi.org/10.1201/9781439833711>
9. *Understanding risk in an evolving world: Emerging best practices in natural disaster risk assessment / A. L. Simpson [et al.].* Washington, DC : World Bank, 2014. 224 p. URL: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/20682> (date of access: 19.04.2022).
10. *Curt C.* Multirisk: What trends in recent works? – A bibliometric analysis // *Science of The Total Environment.* 2021. Vol. 763. 142951. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142951>
11. *Multi-hazard and multi-risk decision-support tools as a part of participatory risk governance: Feedback from civil protection stakeholders / N. Komendantova [et al.] // International Journal of Disaster Risk Reduction.* 2014. Vol. 8. P. 50–67. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2013.12.006>
12. *Terminology of natural hazards and disasters: A review and the case of Brazil / B. E. Monte [et al.] // International Journal of Disaster Risk Reduction.* 2021. Vol. 52. 101970. doi:10.1016/j.ijdr.2020.101970
13. *Liu B., Siu Y. L., Mitchell G.* Hazard interaction analysis for multi-hazard risk assessment: a systematic classification based on hazard-forming environment // *Natural Hazards and Earth System Sciences.* 2016. Vol. 16, iss. 2. P. 629–642. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-629-2016>
14. *Elliott M., Trono A., Cutts N. D.* Coastal hazards and risk // *Coastal zone management / Ed. D. R. Green.* Thomas Telford Publishing, 2010. Chapter 17. P. 396–432. <https://doi.org/10.1680/czm.35164.0017>
15. *Jones D.* Environmental hazards: The challenge of change: Environmental hazards in the 1990s: problems, paradigms and prospects // *Geography.* 1993. Vol. 78, no. 2. P. 161–165. URL: <https://www.jstor.org/stable/40572498> (date of access: 01.05.2022).
16. *Mitchell J. T., Cutter S. L.* Global Change and Environmental Hazards: Is the World Becoming More Disastrous? Washington, D. C. : Association of American Geographers, 1997. 216 p.
17. *Below R., Wirtz A., Guha-Sapir D.* Disaster category classification and peril terminology for operational purposes : working paper. Brussels : Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, 2009. 20 p. URL: https://cred.be/downloadFile.php?file=sites/default/files/Dis-CatClass_264.pdf (date of access: 01.05.2022).
18. *Gill J. C., Malamud B. D.* Reviewing and visualizing the interactions of natural hazards // *Reviews of Geophysics.* 2014. Vol. 52, iss. 4. P. 680–722. <https://doi.org/10.1002/2013RG000445>
19. *White G. F., Kates R. W., Burton I.* Knowing better and losing even more: the use of knowledge in hazards management // *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards.* 2001. Vol. 3, iss. 3–4. P. 81–92. [https://doi.org/10.1016/S1464-2867\(01\)00021-3](https://doi.org/10.1016/S1464-2867(01)00021-3)
20. *Basic principles of multi-risk assessment: a case study in Italy / W. Marzocchi [et al.] // Natural Hazards.* 2012. Vol. 62, iss. 2. P. 551–573. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0092-x>
21. *Wipulanusat W., Nakrod S., Prabnarong P.* Multi-hazard risk assessment using GIS and RS applications: a case study of Pak Phanang Basin // *Walailak Journal of Science and Technology.* 2009. Vol. 6, iss. 1. P. 109–125. URL: <https://wjst.wu.ac.th/index.php/wjst/article/view/76> (date of access: 01.05.2022).
22. *Loat R.* Risk management of natural hazards in Switzerland. Bern, 2010. 15 p. URL: https://www.sistemaprotezionecivile.it/allegati/1149_Svizzera_Risk_Management.pdf (date of access: 01.05.2022).
23. *Chiesa C., Laben C., Cicone R.* An Asia Pacific natural hazards and vulnerabilities atlas // *30th International Symposium on Remote Sensing of Environment, November 10-14, 2003, Honolulu, Hawaii : proceedings.* International Center for Remote Sensing of Environment, 2003.
24. *GIS-based landslide susceptibility mapping using hybrid MCDM models / A. S. Jam [et al.] // Natural Hazards.* 2021. Vol. 108, iss. 1. P. 1025–1046. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04718-5>

25. Development of a drought vulnerability index using MCDM and GIS: study case in São Paulo and Ceará, Brazil / G. de Azevedo Reis [et al.] // *Natural Hazards*. 2020. Vol. 104, iss. 2. P. 1781–1799. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04247-7>
26. GIS-based MCDM – AHP modeling for flood susceptibility mapping of arid areas, southeastern Tunisia / D. Souissi [et al.] // *Geocarto International*. 2020. Vol. 35, iss. 9. P. 991–1017. <https://doi.org/10.1080/10106049.2019.1566405>
27. New MCDM methods under uncertainty applied to integrated natural risks management / J. M. Tacnet [et al.] // 2017 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Virtual Environments for Measurement Systems and Applications (CIVEMSA). IEEE, 2017. P. 193–198. <https://doi.org/10.1109/CIVEMSA.2017.7995325>
28. Методы многокритериального анализа решений / М. О. Петросян [и др.] // Решетневские чтения : материалы XX Юбилейной международной научно-практической конференции, посвященной памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М. Ф. Решетнева (09-12 ноября 2016, г. Красноярск) : в 2 ч. Красноярск : Сибирский гос. аэрокосмический ун-т им. акад. М. Ф. Решетнева, 2016. Ч. 2. С. 76–77. URL: <https://disk.sibsau.ru/index.php/s/UGP7UcMvdmYV7o> (дата обращения: 01.05.2022).
29. Identification of natural hazards and classification of urban areas by TOPSIS model (case study: Bandar Abbas city, Iran) / R. M. Najafabadi [et al.] // *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. 2016. Vol. 7, iss. 1. P. 85–100. <https://doi.org/10.1080/19475705.2013.871353>
30. Nyimbili P. H., Erden T., Karaman H. Integration of GIS, AHP and TOPSIS for earthquake hazard analysis // *Natural Hazards*. 2018. Vol. 92, iss. 3. P. 1523–1546. <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3262-7>
31. Lee G., Jun K.-S., Chung E.-S. Integrated multi-criteria flood vulnerability approach using fuzzy TOPSIS and Delphi technique // *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2013. Vol. 13, iss. 5. P. 1293–1312. <https://doi.org/10.5194/nhess-13-1293-2013>
32. Lozoya J. P., Sarda R., Jiménez J. A. A methodological framework for multi-hazard risk assessment in beaches // *Environmental Science & Policy*. 2011. Vol. 14, iss. 6. P. 685–696. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2011.05.002>
33. Safaripour M., Rezapour Andabili N. Miyandoab flood risk mapping using dematel and SAW methods and DPSIR model // *Advances in Environmental Technology*. 2020. Vol. 6, iss. 3. P. 131–138. <https://doi.org/10.22104/AET.2021.4766.1287>
34. Appelquist L. R., Halsnaes K. The Coastal Hazard Wheel system for coastal multi-hazard assessment & management in a changing climate // *Journal of Coastal Conservation*. 2015. Vol. 19, iss. 2. P. 157–179. <https://doi.org/10.1007/s11852-015-0379-7>
35. Micallef S., Micallef A., Galdies C. Application of the Coastal Hazard Wheel to assess erosion on the Maltese coast // *Ocean & Coastal Management*. 2018. Vol. 156. P. 209–222. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.06.005>
36. Regional coastal erosion assessment based on global open access data: a case study for Colombia / J. Stronkhorst [et al.] // *Journal of Coastal Conservation*. 2018. Vol. 22, iss. 4. P. 787–798. <https://doi.org/10.1007/s11852-018-0609-x>
37. Evaluation of human thermal comfort using UTCI index: case study Khorasan Razavi, Iran / M. Baaghdeh [et al.] // *Natural Environment Change*. 2016. Vol. 2, no. 2. P. 165–175. URL: https://jnec.ut.ac.ir/article_61007_263c37873764f267f74ad7af06cabf05.pdf (date of access: 30.05.2022).
38. Esmaili R., Montazeri M. The determine of the Mashad bioclimatic condition base on hourly data // *Geography and Environmental Planning*. 2013. Vol. 24, no. 1. P. 215–230. URL: https://gep.ui.ac.ir/article_18590.html?lang=en (date of access: 25.05.2022).
39. Yaglou C. P., Minard D. Control of heat casualties at military training centers // *A.M.A. Archives of Industrial Health*. 1957. Vol. 16, no. 4. P. 302–316. URL: https://archive.org/details/sim_a-m-a-archives-of-industrial-health_1957-10_16_4/page/316/mode/2up (date of access: 25.05.2022).

40. Assessing global exposure and vulnerability towards natural hazards: the Disaster Risk Index / P. Peduzzi [et al.] // *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2009. Vol. 9, iss. 4. P. 1149–1159. <https://doi.org/10.5194/nhess-9-1149-2009>
41. Community resilience as a metaphor, theory, set of capacities, and strategy for disaster readiness / F. H. Norris [et al.] // *American Journal of Community Psychology*. 2008. Vol. 41, iss. 1–2. P. 127–150. <https://doi.org/10.1007/s10464-007-9156-6>
42. *Greiving S., Fleischhauer M., Lückenköter J.* A methodology for an integrated risk assessment of spatially relevant hazards // *Journal of Environmental Planning and Management*. 2006. Vol. 49, iss. 1. P. 1–19. <https://doi.org/10.1080/09640560500372800>
43. Flood timescales: Understanding the interplay of climate and catchment processes through comparative hydrology / L. Gaál [et al.] // *Water Resources Research*. 2012. Vol. 48, iss. 4. W04511. doi:10.1029/2011WR011509
44. Satellite image analysis for disaster and crisis-management support / S. Voigt [et al.] // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2007. Vol. 45, no. 6. P. 1520–1528. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2007.895830>
45. Mapping and monitoring geological hazards using optical, LiDAR, and synthetic aperture RADAR image data / K. E. Joyce [et al.] // *Natural Hazards*. 2014. Vol. 73, iss. 2. P. 137–163. doi:10.1007/s11069-014-1122-7
46. *Kerle N., Oppenheimer C.* Satellite remote sensing as a tool in lahar disaster management // *Disasters*. 2002. Vol. 26, iss. 2. P. 140–160. <https://doi.org/10.1111/1467-7717.00197>
47. Satellite remote sensing of earthquake, volcano, flood, landslide and coastal inundation hazards / D. M. Tralli [et al.] // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2005. Vol. 59, iss. 4. P. 185–198. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2005.02.002>
48. An analysis of geospatial technologies for risk and natural disaster management / L. A. Manfré [et al.] // *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2012. Vol. 1, iss. 2. P. 166–185. doi:10.3390/ijgi1020166
49. *Montoya L.* Geo-data acquisition through mobile GIS and digital video: an urban disaster management perspective // *Environmental Modelling & Software*. 2003. Vol. 18, iss. 10. P. 869–876. doi:10.1016/S1364-8152(03)00105-1
50. *Zou Q.* Research on cloud computing for disaster monitoring using massive remote sensing data // 2017 IEEE 2nd International Conference on Cloud Computing and Big Data Analysis (ICCCBDA). IEEE, 2017. P. 29–33. doi:10.1109/ICCCBDA.2017.7951879
51. *Böhm K., Mehler-Bicher A., Fenchel D.* GeoVisualAnalytics in the public health sector // *Proceedings 2011 IEEE International Conference on Spatial Data Mining and Geographical Knowledge Services*. IEEE, 2011. P. 291–294. doi:10.1109/ICSDM.2011.5969049
52. Climate engine: Cloud computing and visualization of climate and remote sensing data for advanced natural resource monitoring and process understanding / J. L. Huntington [et al.] // *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2017. Vol. 98, iss. 11. P. 2397–2410. doi:10.1175/BAMS-D-15-00324.1

Сведения об авторах:

Янцкая Наталья Александровна, заместитель директора по науке, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук» (354002, Сочи, ул. Яна Фабрициуса, д. 2/28); ведущий научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук» (344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41), кандидат географических наук, **ORCID ID: 0000-0002-4931-484X**, **ResearcherID: I-3169-2013**, **Scopus Author ID: 55349362100**, **SPIN-код: 1339-1317** **AuthorID: 637712**, yaitskayan@gmail.com

Магаева Анастасия Алексеевна, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук» (344006, Ростов-на-Дону, пр. Чехова, д. 41), **ORCID ID: 0000-0002-3519-3565**, **ResearcherID: AAG-1117-2021**, **Scopus Author ID: 14629086400**, **SPIN-код: 6735-9326** **AuthorID: 847661**, a.mageva@mail.ru