

РОССИЯ И МИР В XXI ВЕКЕ

RUSSIA AND THE WORLD IN THE 21st CENTURY

DOI: 10.31249/rsm/2022.01.04

С.И. Коданева

ПОТЕНЦИАЛ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СМЯГЧЕНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ И АДАПТАЦИИ К ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА

Аннотация. На протяжении нескольких десятилетий мировая экономика демонстрировала постоянный рост, в основном за счет развития промышленности, связанного с увеличением использования ископаемого топлива. Это привело к резкому увеличению выбросов парниковых газов, что вызвало практически необратимые изменения климата. Мировое научное сообщество признает антропогенные причины таких изменений и их результатов – все более учащающихся природных бедствий и катастроф, таких как наводнения, оползни, ураганы и пожары. Некоторые эксперты этими причинами объясняют появление новых смертельных вирусов и распространение опасных вредителей.

Россия входит в число регионов, наиболее подверженных влиянию последствий изменения климата. Так, в северных широтах потепление происходит в 2 раза быстрее, чем в других частях света. Это вызывает таяние вечной мерзлоты, следствием которого становятся не только лесные пожары (распространение и сила которых в 2019 и 2020 гг. побили все предыдущие рекорды) и наводнения, но и техногенные катастрофы (например, в Норильске в мае 2020 г., когда в почву и реки попала 21 т топлива).

Это означает, что необходимо принимать срочные меры по смягчению последствий и адаптации к изменению климата. Настоящая статья посвящена анализу того потенциала, который имеют современные цифровые технологии в решении поставленной задачи. Автор рассматривает российский и зарубежный опыт использования инструментов сбора и обработки данных, информационного моделирования и коммуникации для прогнозирования возможных негативных явлений, разнообразных стихийных бедствий и катаклизмов, оперативное реагирование на них, включая мероприятия по спасению людей и ограничению распространения таких явлений (например, тушение лесных пожаров), мониторинга их развития, выявления и устранения последствий.

По результатам проведенного анализа автор делает вывод об отсутствии в России комплексного подхода с использованием цифровых технологий к решению проблем, связанных с изменением климата, и формулирует предложения по включению соответствующих мероприятий в действующие национальные проекты.

Ключевые слова: изменение климата; цифровые технологии; глобальное потепление; природные пожары; большие данные; информационное моделирование.

Коданева Светлана Игоревна – кандидат юридических наук,
старший научный сотрудник отдела Правоведения
ИНИОН РАН. Россия, Москва.
E-mail: kodaneva@inion.ru
Web of Science Researcher ID: V-2683-2018

Kodaneva S.I. The potential of digital technologies for climate change mitigation and adaptation

***Abstract.** For several decades, the world economy has shown constant growth, mainly due to the development of industry and the increase in the use of fossil fuels. This case led to a sharp increase in greenhouse gas emissions, which caused almost irreversible climate change. The global scientific community recognizes the anthropogenic causes of such changes and their results – the increasingly frequent natural disasters and catastrophes, such as floods, landslides, hurricanes and fires. Some experts also explain the emergence of new deadly viruses and the spread of dangerous pests for the same reasons.*

Russia is among the regions most affected by the effects of climate change. So, in the northern latitudes, warming occurs two times faster than in other parts of the world, which causes the melting of permafrost, which results not only in forest fires (the spread and strength of which is 2019 and 2020 broke all previous records) and floods but also man-made disasters (for example, in Norilsk in May 2020, when 21 tons of fuel got into the soil and rivers).

This means that urgent measures must be taken to mitigate and adapt to climate change. This article is devoted to analysing the potential that modern digital technologies have in solving this problem. The author examines the Russian and foreign experience of using various tools for data collection and processing, information modeling and communication to predict possible negative phenomena, including a variety of natural disasters and cataclysms, rapid response to them, including measures to save people and limit the spread of such phenomena (for example, extinguishing forest fires), monitoring their development, identifying and eliminating the consequences.

Based on the analysis results, the author concludes that Russia does not have a comprehensive approach to solving problems related to climate change using digital technologies and formulates proposals for the inclusion of relevant measures in existing national projects.

Keywords: climate change; digital technologies; global warming; wildfires; big data; information modeling.

Kodaneva Svetlana Igorevna – Candidate of Law Science,
Senior researcher, Department of Jurisprudence, INION RAN,
Institute of scientific information on social Sciences of the Russian
Academy of Sciences. Russia, Moscow.
E-mail: kodaneva@inion.ru
Web of Science Researcher ID: V-2683-2018

Пандемия COVID-19 продемонстрировала всему человечеству хрупкость его существования и то, с какими весьма конкретными и ощутимыми коллективными опасностями оно может сталкиваться. Однако у пандемии есть важная особенность. Теперь речь идет об угрозе не экономической (как это было во время финансового кризиса 2008 г.) или политической безопасности, а о природной угрозе. Банк международных расчетов придумал для подобных событий новый термин: «зеленый лебедь». Как полагает Х. Мюллер, такие катастрофы происходят из-за изменения климата, постоянно растущей плотности населения и глобальной взаимной зависимости. И эти катастрофы могут иметь «огромные прямые последствия для человеческой жизни» [Мюллер 2020].

На протяжении последних десятилетий мировая экономика демонстрировала постоянный рост за счет интенсивного развития промышленного производства и глобализации, что привело к увеличению использования энергии ископаемого топлива, а значит – к увеличению выбросов парниковых газов. По данным МЭА, глобальные общие выбросы от ископаемого топлива увеличились на 60% с 1990 по 2017 г. [Wu, Xie 2020].

Эти выбросы являются основной причиной изменения климата: глобального потепления и возникновения экстремальных погодных катаклизмов. При этом изменение климата в равной степени затрагивает всю планету, а значит, увеличение выбросов загрязняющих веществ в одних регионах может иметь катастрофические последствия для других. Так, Африка вносит незначительный вклад в изменение климата (около 4% от общего объема глобальных выбросов в 2017 г.), но все чаще сталкивается с его негативными последствиями, такими как разрушительные наводнения или «тепловые волны», приводящие к резкому повышению температуры [Cobbinah 2021].

Россия также входит в число стран, которые испытывают на себе последствия изменения климата. Так, по данным Росгидромета, на территории России средняя за год температура воздуха на 2,07°C превысила норму – среднюю за 1961–1990 гг. Средняя скорость роста среднегодовой температуры воздуха на территории России в 1976–2019 гг. составила 0,47°C / 10 лет. Это более чем в 2,5 раза больше скорости роста глобальной температуры за тот же период: 0,18°C / 10 лет, и более чем в 1,5 раза больше средней скорости потепления приземного воздуха над сушей земного шара. Особенно значительные изменения климата наблюдаются в Арктике и зоне многолетней мерзлоты. Рост среднегодовой температуры здесь составил 0,81°C / 10 лет, т.е. 2,43°C за 30 лет [Доклад об особенностях климата 2020, с. 6].

В результате 2019 год в целом для земного шара оказался вторым после 2016 г. среди самых теплых за весь период инструментальных наблюдений.

Глобальная температура превысила доиндустриальную (1850–1900) на 1,1°C [Доклад об особенностях климата 2020, с. 6]. Но последовавший после этого 2020 год побил эти рекорды. Так, первая половина 2020 г. в России стала рекордно жаркой за 130 лет метеонаблюдений [Как горит Сибирь 2020].

Следствием постоянного повышения температур становится то, что северные моря перестали замерзать. Так, метеостанция в Териберке на берегу Баренцева моря фиксирует постоянное повышение морской воды. Ближайшие морские заливы больше не замерзают. В последний раз это происходило около десяти лет назад [Лаурен 2021].

Ученые уже довольно давно фиксируют потепление Мирового океана и повышение его уровня. Так, в 2009–2018 гг. уровень Мирового океана ежегодно повышался более чем на 4 мм в год [Pihl, Martin 2019, p. 8–9].

В 2017 г. правительство Финляндии провело исследование, посвященное климатическим изменениям в Баренцевом море, которое показало, что температура Баренцева моря и Северного Ледовитого океана растет вдвое быстрее, чем температура остальных частей Мирового океана. Баренцево море относительно мелкое, его глубина в среднем составляет 230 м (средняя глубина Мирового океана – 3729 м). Вот почему оно нагревается быстрее. Соответственно, оно перестает выполнять свою основную функцию – охлаждать окружающую среду. Так, раньше оно охлаждало попадавшие в него теплые течения Атлантики. Скоро этого эффекта не будет, гласит статья норвежских исследователей, опубликованная в этом году в научном журнале Nature [Лаурен 2021].

Последствия оказываются катастрофическими. Во-первых, начинает таять вечная мерзлота. Примерно 65% площади России покрыты вечной мерзлотой. Соответственно, ее таяние создает серьезные риски для инфраструктуры: дома и дороги проваливаются под землю [Лаурен 2021]. Широкую известность получила катастрофа в Норильске, когда 21 тыс. т дизельного топлива попала в почву и реку из-за разгерметизации резервуара. Резервуар стоял на опорах, установленных на вечной мерзлоте. Однако она подтаяла, и опоры просели, из-за чего и произошла утечка [Вагнер 2021].

Еще одно следствие потепления – природные пожары. Так, по мнению М. Паррингтона, главного исследователя программы «Коперник», в Арктике становится все теплее, соответственно, уменьшается количество влаги, что и создает условия для пожаров. К этому добавилось резкое повышение температур (как было указано выше, 2019 и 2020 гг. были одними из самых теплых в истории метеонаблюдений). Превышение средних температур в 2020 г. наблюдалось преимущественно в северо-восточных районах Сибири и Дальнего Востока. Так, в мае температура воздуха была выше среднего значения, в отдельных районах превышение достигало

10°C, а 20 июня Росгидромет зафиксировал температуру 38°C в якутском городе Верхоянске, который считается северным полюсом холода¹ [Как горит Сибирь 2020].

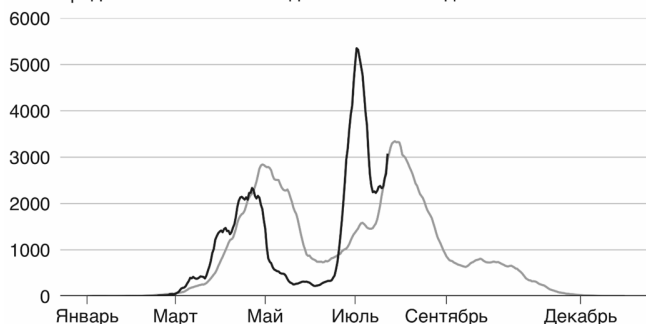
Вследствие этого сезон лесных пожаров начался раньше обычного. При этом Рослесхоз России сообщил о том, что в 2020 г. центры пожароопасной ситуации смещаются на север. По количеству пожаров 2020 год приближается к 2019, который был одним из самых активных за последние 18 лет (рис. 1). В 2019 г. пройденная огнем площадь, по официальным данным, составила 16,5 млн га. Это больше, чем общая площадь Латвии, Литвы и Эстонии. Ущерб от пожаров, по оценке Рослесхоза, составил 14,4 млрд руб. (200 млн долл.) [Как горит Сибирь 2020].

Это означает, что экосистема России только за эти два года потеряла более 30 млн га зеленых насаждений, которые выполняли функции поглотителя карбонового следа предприятий. Кроме того, в результате лесных пожаров в атмосферу выделяется огромное количество парниковых газов. Неслучайно, сегодня в мире создаются так называемые «карбоновые фермы», задача которых – разработка фитокомплексов из генетически модифицированных растений, способных поглощать больше углекислого газа, нежели обычные леса, устойчивых к огню и живущих десятилетиями. Создание «карбоновых ферм» рядом с предприятиями позволит обеспечить поглощение выбрасываемых ими парниковых газов [Канищев 2021].

В России растёт количество пожаров

Количество термоточек (температурных аномалий)

— В среднем за 2001 – 2019 годы — За 2020 год



Источник: Greenpeace/NASA/FIRMS

В В С

Рис. 1

Источник: Greenpeace/NASA/FIRMS

1. Полюс холода – это место, в котором зарегистрированы самые низкие температуры в данном полушарии. Верхоянский рекорд – 67,8° мороза в феврале 1982 г.

Еще одним следствием глобального потепления становится снижение биоразнообразия. Человеческая деятельность уже привела к потере 83% всех диких млекопитающих и половины растений, являющихся основой систем питания и здоровья населения планеты [Жилина 2020]. Но, помимо этого, постоянно происходят и локальные экологические бедствия. Так, в январе 2021 г. произошла массовая гибель рыбы в реке Арчеде (Донской бассейн) из-за незаконных сбросов загрязняющих веществ [Мерзляков 2021]. И такие явления, к сожалению, не являются исключением и редкостью.

Напротив, изменения климата способствуют мутациям и появлениям новых опасных микроорганизмов, вызывающих новые смертельные болезни у человека и животных [Мюллер 2020]. Например, вспышка вируса Нипах примерно на рубеже XXI в. началась из-за того, что человечество выжигало леса, чтобы освободить место для сельского хозяйства, что привело к перемещению инфицированных летучих мышей ближе к населенным пунктам [Дерябин 2020].

Специалисты также отмечают, что повышение температур может приводить к увеличению зон обитания сельскохозяйственных вредителей, например саранчи. Так, в отдельных областях России в 2020 г. наблюдалось нашествие саранчи, прежде всего в Северо-Кавказском (Республика Дагестан, Ставропольский край) и Южном (Астраханская область, Республика Калмыкия) федеральных округах. К маю 2020 г. саранча распространилась минимум в 30 странах Африки, Азии (Индия, Пакистан, Китай, Бангладеш) и Персидского залива. Эксперты называют ее нашествие самым масштабным за последние полвека. В Эфиопии и Сомали это крупнейшая вспышка за 25 лет, в Индии – за 30 лет. В Пакистане саранчу называют самым страшным бедствием в Новейшей истории страны. Причиной такого масштаба распространения саранчи называют аномально теплую зиму (в Африке), из-за которой насекомые вывели на одно поколение больше [Положихина 2021].

Таким образом, в ближайшие годы следует ожидать роста самых разнообразных и катастрофических проявлений изменения климата, что создает экзистенциальную угрозу для многих живых существ и ландшафтов [Bettini et al., 2020].

Предотвращение опасных климатических изменений является целью Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК ООН) 1992 г. Хотя сегодня, почти 30 лет спустя, очевидно, что цели этой Конвенции так и не были достигнуты. Это стало одним из ключевых вопросов обсуждения на Парижском саммите 2015 г., завершившегося принятием Парижской конвенции. Современные данные позволяют сделать вывод о том, что глобальное повышение температуры на 1,5°C по сравнению с доиндустриальным уровнем может произойти не к 2030 г., как предполагалось, а на несколько лет раньше. Чтобы избежать этого, в 2020–2030 гг. мировое сообщество

должно сократить объем выбросов парниковых газов до 25 Гт эквивалента CO₂ в год против 60 Гт в настоящее время [Жилина 2020], что маловероятно. Кроме того, накопленные в прошлом выбросы уже привели к серьезным изменениям, которые будут воздействовать на окружающую среду независимо от нынешних и будущих усилий по смягчению последствий изменения климата.

РКИК ООН определяет, что изменению климата можно противодействовать посредством двух методов. Во-первых, государства должны реализовать программы, содержащие меры по смягчению последствий изменения климата путем решения проблемы антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями всех парниковых газов [Рамочная конвенция 1992]. Как правило, это различные финансовые инструменты, такие как плата за выбросы или за утилизацию продукции. Как отмечает М. Канищев, цель декарбонизации (сокращение объема выбросов (углеродного следа) при производстве продукции) – заставить собственников модернизировать заводы. Перед компаниями встает выбор: платить разнообразные «зеленые» налоги и сборы или вкладывать средства в модернизацию производства для снижения этой налоговой повинности [Канищев 2021]. Кроме того, сегодня инвестиции в «зеленые» технологии открывают компаниям новые рынки, а также позволяют привлекать финансирование на льготных условиях через механизмы «зеленого финансирования», такие как «зеленые облигации» [Коданева 2020].

Во-вторых, государства, в соответствии с РКИК ООН должны реализовывать меры по содействию адекватной адаптации к изменению климата, т.е. мер по предотвращению неблагоприятных последствий, которые выходят за рамки «допустимого уровня» риска. Адаптация – это приспособление к меняющимся условиям. Например, выведение сортов растений, устойчивых к различным негативным воздействиям: засухам, заморозкам, пожарам; растений, поглощающих больше парниковых газов и т.д. Однако существуют серьезные опасения по поводу пределов адаптации и ее последствий, как с точки зрения осуществимости, так и с точки зрения имеющихся ресурсов [Ober, Sakdapolrak 2019]. Суть в том, что адаптация неизбежно достигнет своих пределов, то есть «точек, в которых она не сможет защитить то, что ценят заинтересованные стороны», и не будет одинаково действенной для всей планеты [Bettini et al. 2020]. Другими словами, адаптация, как ожидается, не сможет полностью предотвратить достижение неприемлемых уровней связанных с климатом рисков.

Таким образом, на сегодняшний день приобретает особенную актуальность повышение устойчивости отдельных общин, государств и человечества в целом к различным негативным проявлениям изменения климата. Устойчивость – это способность экосистемы или человеческого сообщества, подвер-

гающихся опасности, противостоять ей, приспособливаться и эффективно восстанавливаться после негативного воздействия, в том числе путем сохранения и восстановления своих основных базовых структур и функций.

Повышение устойчивости экосистем и социума требует разработки комплексных мероприятий, направленных на прогнозирование возможных негативных явлений, включая разнообразие стихийные бедствия и катаклизмы, оперативное реагирование на них, включая мероприятия по спасению людей и ограничению распространения таких явлений (например, тушение лесных пожаров), мониторинг их развития, выявление и устранение последствий. Ключевую роль в этом процессе, как представляется, должны играть современные цифровые технологии.

Прежде всего речь идет о всем комплексе технических средств для сбора и обработки данных. Источниками данных могут выступать как технические средства, так и люди. Так, техническими средствами для получения данных являются спутниковые системы, беспилотные летающие аппараты, различные датчики и лидары². Что касается людей, то они становятся «живыми сенсорами», передавая актуальную информацию через социальные сети.

Спутниковые снимки могут использоваться для решения широкого круга задач, поскольку они позволяют получать количественные и качественные данные в реальном времени и с большой точностью, а также фотоснимки с высоким разрешением. Это незаменимо для обнаружения стихийных бедствий, таких как наводнения, оползни и пожары, и контроля за ними с помощью изображений дистанционного зондирования. Так, в Вологодской области в 2020 г. удалось не допустить ни одного крупного пожара, все возникающие очаги тушились в первые же сутки. Достичь таких результатов, в частности, помог космический мониторинг, зафиксировавший 101 термоточку (рис. 2) [Вылегжанина 2021].

Спутниковые снимки дают информацию об изменении состояния земной коры, водных объектов, направления движения ураганов, а также позволяют обнаруживать поврежденные объекты и определять размеры пострадавших районов [Sarker, 2020]. Эта информация может способствовать принятию эффективных решений о методах спасения. Раннее обнаружение надвигающейся опасности позволяет также своевременно предупредить местных жителей и эвакуировать их из опасной зоны, что особенно актуально при наводнениях.

2. Лидар – технология получения и обработки информации об удаленных объектах с помощью активных оптических систем, использующих явления поглощения и рассеяния света в оптически прозрачных средах.

**ОТЧЕТ О ТЕРМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЯХ ПО ДАННЫМ КОСМИЧЕСКОГО
МОНИТОРИНГА С 1.01.2021 ПО 1.02.2021, ПОКРЫТАЯ ЛЕСОМ
ПЛОЩАДЬ, ПРОЙДЕННАЯ ОГНЕМ, гектары**

Источник: Федеральное агентство лесного хозяйства

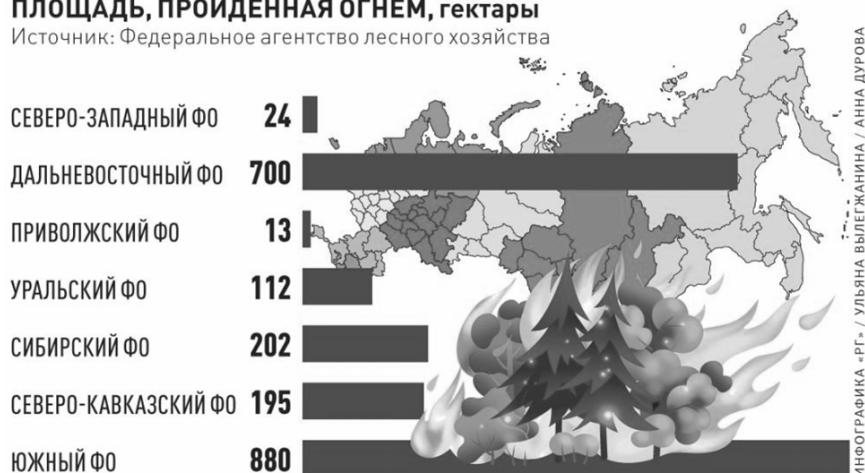


Рис. 2

Источник: Федеральное агентство лесного хозяйства

Беспилотные летательные аппараты используются для получения аэрофотоснимков, способствующих повышению ситуационной осведомленности [Yu et al. 2018]. Этот метод более эффективен в ситуациях, когда необходимо получать оперативную информацию из «горячей точки». Его можно использовать как инструмент для обнаружения мелких трещин, повреждений зданий, структуры и степени повреждений. Беспилотники используют различные виды датчиков, такие как камеры, инфракрасные, ультрафиолетовые, радиационные и погодные датчики, а также анализаторы спектра [Anbarasan et al. 2020]. Так, в Астраханской области для контроля за противопожарной обстановкой сотрудники МЧС начали использовать беспилотники. Причем авиамониторинг уже позволил выявить как минимум один факт выжигания сухой растительности в Приволжском районе [Мельников 2021]. Российские ученые также разрабатывают методику радиоэкологического мониторинга сверхлегкими беспилотными аппаратами [Байкал 2021].

Но помимо мониторинга беспилотники могут использоваться и для спасения людей. Так была разработана технология установления связи в районах бедствий, где мобильная связь перестала функционировать, и люди оказались отрезанными от внешнего мира [Felice et al. 2014]. Для этого использовались небольшие беспилотные летательные аппараты как качественный инструмент для установления связи между большим количеством устройств. Также создано устройство «командный телефон» для трансляции сообщений через

смартфоны [Lu et al. 2017]. «Командный телефон» обеспечивает надежную связь между членами спасательной команды. Система также позволяет устанавливать связь между телефонами пострадавших и отправлять им спасательные сообщения.

Еще одной перспективной технологией является формирование сетей датчиков и камер, которые могут быть использованы в качестве системы предупреждения и мониторинга. Данные, получаемые через такие сети и обрабатываемые с помощью технологий искусственного интеллекта, не только позволяют оперативно выявлять различные аномалии, но и прогнозировать их появление. Так, в Южной Калифорнии платформа Envirosuite используется для контроля качества атмосферного воздуха. Платформа в режиме реального времени строит базовый сценарий распространения вредных веществ в атмосфере на основе набора данных о качестве воздуха, скорости и направлении ветра, уровне промышленных выбросов и с учетом прогноза погоды. Набор данных формируется по показаниям датчиков метеорологических станций и станций контроля загрязнения атмосферы, подключенных к Envirosuite по каналам беспроводной связи. Платформа позволяет выявлять потенциальные источники загрязнения воздуха в течение нескольких секунд после возникновения инцидента [Волкова 2020].

В России также внедряются подобные технологии. Так, в Ростовской области Ростелеком создал аппаратно-программный комплекс «Безопасный город». В ситуационном центре «Безопасного города» на экраны выводится изображение с видеокамер, данные геоинформационной системы, а также другая информация, в том числе полученная с помощью датчиков и сенсоров Интернета вещей. «Безопасный город» объединяет: 4782 датчика системы мониторинга пожарной сигнализации, 37 датчиков мониторинга радиационной обстановки, 63 поста мониторинга метео- и гидрологической обстановки, 42 видеокамеры системы мониторинга лесных пожаров. Как отметил Сергей Панов, директор департамента по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций Ростовской области, с помощью данной платформы в 2020 г. муниципальные образования области получили 2563 штормовых предупреждения и 1546 сообщений о подъеме уровня воды, что позволило своевременно принять меры для предупреждения последствий непогоды [Умное окно... 2021].

Помогает система датчиков и камер и в тушении лесных пожаров. Так, в Калининградской области в 2020 г. количество природных пожаров снизилось по сравнению с 2019 г. на 46% причем большинство пожаров удалось потушить в день возникновения. Этому способствовали, в том числе, камеры видеонаблюдения системы «Лесной дозор». Всего на территории области функционирует 15 таких камер с высокоточным передающим изображением [Вылегжанина 2021].

Позволяют датчики осуществлять и мониторинг состояния водных объектов. Так, на озере Байкал за счет установки новых мониторинговых станций собирают данные, связанные с гидрологическими режимами Байкальской природной территории: по изменению температуры, уровня кислорода, рН, хлорофилла, минерализации [Байкал 2021].

Точные данные о пострадавших от стихийного бедствия районах могут быть получены при помощи лидаров с использованием передовых моделей высот [Yu et al. 2018]. Несмотря на трудоемкость и высокую стоимость, эта технология обеспечивает достоверную и надежную информацию, исследуя реальные условия с помощью высокого разрешения [Sarker 2020]. Лидары очень полезны для точного картирования геологических объектов, а также для получения точных данных об уровне подъема воды при наводнениях и для прогнозирования будущих наводнений.

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН (Томск), использует лидары для обнаружения проявлений в атмосфере пожаров, в том числе и отдаленных. Лимнологический институт СО РАН (Иркутск) при помощи лидаров, размещенных на станции мониторинга «Листвянка» (на Байкале), получает данные по газовым примесям, что позволяет оценить состояние атмосферы рядом с озером Байкал [Байкал 2021].

Как уже упоминалось выше, помимо технических средств источниками ценных данных могут быть и люди. Получать такие данные можно либо по модели краудсорсинга, либо через социальные сети.

Краудсорсинг предоставляет возможность большому количеству людей сознательно принимать участие в специальных проектах, связанных с охраной окружающей среды, а в случае стихийного бедствия обмениваться ценной информацией и опытом [Ogie et al. 2019].

Примечательно, что в краудсорсинговых проектах участвуют не только люди, но и компании. Так, в 2014 г. ООН запустила проект «Data For Climate Action» («Данные для принятия мер по противодействию изменению климата»), в котором участвуют компании из телекоммуникационного, финансового, технологического секторов, а также ритейла. Эти компании предоставляют ученым и исследователям анонимные агрегированные наборы данных для поиска решений по борьбе с изменением климата. Сегодня реализуются и иные подобные проекты, например «Искусственный интеллект для целей устойчивого развития». Это движение получило название «филантропии данных». Предполагается, что в будущем оно перерастет в «общее достояние данных» – публичное пространство для размещения ценных социальных данных, доступ к которым смогут получить многочисленные заинтересованные исследователи, организации и органы власти для решения общечеловеческих проблем.

Краудсорсинговые данные также полезны для изучения пострадавшего от стихийного бедствия района. Так, в Китае реализован проект мониторинга

оползней, который сочетает в себе «традиционные» методы дистанционного зондирования с данными, добровольно размещаемыми на специальной платформе ее пользователями [Li et al. 2019]. Модель краудсорсинга также была реализована после землетрясения на Гаити для координации усилий властей по оказанию помощи, целевого распределения ресурсов и поддержки особо уязвимых групп населения.

Однако краудсорсинговая модель имеет и существенный недостаток, связанный с достоверностью полученных данных [Ogie et al. 2019]. Поэтому для ее использования необходимы самые современные способы обработки и проверки полученных данных.

В настоящее время социальные медиа играют важную роль практически во всех аспектах жизни. Не является исключением и рассматриваемая сфера. Социальные медиа и микроблоги могут быть чрезвычайно ценным дополнительным источником информации на начальных этапах кризисных ситуаций, когда ситуационная осведомленность жизненно важна для принятия обоснованных решений и оказания помощи пострадавшим. Оперативная коммуникация необходима для управления спасательными операциями и поиска пострадавших, которые пытаются позвать на помощь через социальные сети. Возможен и обратный вариант – передача информации, содержащей жизненно важные инструкции по спасению в экстремальной ситуации, через различные инструменты коммуникаций, такие как Facebook, Twitter, WhatsApp, WeChat и др.

Безусловно, данные из социальных сетей довольно трудно извлекать в силу их диффузного характера, однако технологии обработки больших данных, включая искусственный интеллект, позволяют достаточно оперативно решать данную задачу. Проблема заключается в том, что в российской, да и зарубежной практике пока что слишком мало внимания уделяется этому бесценному источнику данных. Соответственно, специальные (например, МЧС) и, тем более, профильные (Рослесхоз, Росприроднадзор и др.) ведомства не владеют необходимыми техническими средствами для сбора и обработки данных из социальных медиа.

Также социальные сети могут способствовать поддержанию социальных связей и облегчать эмоциональное восстановление пострадавших в стихийных бедствиях, а также устранению негативных последствий таких событий, например помогая людям найти своих пропавших родственников, собрать необходимые вещи и средства, привлечь добровольцев и т.д.

Так, проект PetaJakarta в Индонезии позволяет собирать данные о наводнениях и распространять оперативную информацию через Twitter. Платформа собирает отчеты о наводнениях от местных жителей (с помощью хэштега Twitter и прикрепленных фотографий), проверяет их с помощью передовых алгоритмов, а затем в режиме реального времени с помощью инструмента

визуализации карт и каналов социальных сетей, делает такие отчеты доступными для общественности. Похожие проекты были реализованы во время лесных пожаров в Сан-Бернардино в 2003 г., и урагана «Катрина» в 2005 г. Но более известным стал проект OccupySandy, запущенный в 2012 г. в Нью-Йорке во время урагана «Санди». Платформа использовала социальные медиа и краудсорсинг, помогая пострадавшим от урагана десяткам тысяч граждан. Однако и после того, как последствия урагана были полностью устранены, OccupySandy продолжила свою работу, превратившись в платформу, координирующую самоорганизующиеся инициативы жителей, нацеленные на социально-экологические уязвимости в северо-восточной части Соединенных Штатов.

Однако, как было показано выше, сам по себе сбор данных – это только половина задачи. Для того, чтобы полученные данные позволяли повысить эффективность решения задач, возникающих перед человеком в связи с изменением климата, необходимо их проверять, обрабатывать, анализировать. Здесь ключевую роль должны играть инструменты так называемой предиктивной аналитики³. Предиктивная аналитика позволяет решать целый комплекс задач:

1. При помощи описательной аналитики создается сводка исторических данных для их дальнейшего анализа. Например, непрерывный сбор информации с помощью датчиков позволит точно идентифицировать момент возникновения природной аномалии.

2. В диагностической аналитике используются различные методы анализа данных для выявления основных факторов, повлиявших на ситуацию. Так, диагностическая аналитика позволяет понять, по какой причине случилась такая аномалия.

3. Предсказательная аналитика позволяет на основе исторических данных строить прогностические модели. Например, можно прогнозировать будущие опасности путем анализа метеорологических и наземных явлений, а также различных видов загрязнения.

4. Предписывающая аналитика позволяет принимать максимально эффективные решения для минимизации вероятности события. Например, модель предписывающей аналитики на базе данных предсказательной аналитики о вероятности оползня может дать рекомендации о мерах по его недопущению или минимизации негативных последствий (перекрытие дорог, эвакуация населения, мероприятия по принудительному спуску оползня и т.д.).

3. *Предсказательная аналитика – класс методов анализа данных, концентрирующийся на прогнозировании будущего поведения объектов и субъектов с целью принятия оптимальных решений.*

Инструментарий предиктивной аналитики довольно разнообразен, но ключевыми его элементами являются большие наборы данных и машинное обучение. Прогностическая модель, основанная на машинном обучении, является более динамичной, чем другие модели, поскольку она может изменяться, расти и адаптироваться в зависимости от типа данных, которые ей предоставляются. Она более точная, чем другие инструменты прогнозирования, поскольку всегда может быть перепроверена на имеющихся данных, чтобы определить, насколько точными будут результаты в будущем [Сигель 2020]. Модели предиктивной аналитики позволяют видеть то, что незаметно или неочевидно человеку, включая скрытые риски.

Кроме того, современные технологии позволяют визуализировать полученные данные, сделать моделирование наглядным, в том числе создавая так называемые «цифровые двойники» практически любого объекта. В последнее время концепция цифровых двойников становится все более популярной, ее начинают применять в самых разнообразных сферах, начиная от ракетостроения и заканчивая ритейлом (например, цифровые двойники покупателя и продавца). Но изначально само это понятие зародилось в инженерных науках, применялось для промышленных целей и подразумевало разработку 3-D модели создаваемого объекта (например, проект «Аполлон» в космической отрасли или модели зданий в строительном информационном моделировании).

Следует отметить, что на сегодняшний день не существует ни единых подходов к определению того, что из себя представляют «цифровые двойники», ни к определению этапов развития информационного моделирования. Это можно объяснить тем, что в различных областях данная технология развивалась по-разному, в зависимости от того, какие задачи требовалось решать ее разработчикам. Однако все-таки можно проследить, как базовые технологии дополнялись новыми свойствами.

Так, изначально информационное моделирование представляло собой набор инструментов для проектирования и визуализации в формате 3D различных функциональных атрибутов создаваемого объекта, а также обеспечения кроссфункционального сотрудничества (между проектировщиками, строителями, инженерами и т.д.) [Matejka, Vitasek, 2018]. Принято считать, что данная технология появилась в 1970-х годах, на основе технологии САПР (система автоматизации проектных работ), созданной в Массачусетском технологическом институте в 1960-х годах [Saldanha, 2019]. С развитием информационных технологий и повышением производительных мощностей компьютеров информационное моделирование стало довольно быстро развиваться и в начале 2000-х получило широкое распространение [Eastman et al. 2018].

Принципиальным отличием информационного моделирования от САПР была возможность не просто создавать объемные проекты зданий, но насы-

щать их дополнительной негеометрической информацией, что существенно расширило функциональные возможности, позволив включать в проектные расчеты финансовую составляющую, требования к количеству и качеству материалов [Kim et al. 2015] (что является существенным условием для грамотного планирования закупок), а также контроль всего жизненного цикла будущего объекта. Эти возможности привлекли внимание компании Autodesk, которая начала активно продвигать его вместе со своими продуктами [Hromada 2016]. Сегодня существует несколько компаний, предлагающих программные продукты для реализации информационного моделирования [Li et al. 2018]. Их платформы предлагают различные специализированные функции, такие как структурный анализ, мониторинг и анализ энергоэффективности, планирование и контроль соблюдения всех этапов строительства, контроль безопасности труда и даже возможности выявлять расхождения, между тем как отдельные элементы были спроектированы и реализованы на практике.

Второй особенностью концепции информационного моделирования является то, что она обеспечивает создание платформы обмена информацией для всех заинтересованных сторон, что позволяет осуществлять постоянную оценку и контроль достоверности информации, в результате повышается ее качество. Это способствует принятию обоснованных решений [Lee et al. 2015].

Однако не следует сводить информационное моделирование исключительно к технологическому инструменту проектирования. Дело в том, что по мере развития современных технологий концепция информационного моделирования стала меняться довольно кардинально, и сегодня все чаще создаются модели не будущих (проектируемых) объектов, а уже существующих. Причем, как технических (например, зданий, моделей скоростного транспорта, судов или систем водоснабжения), так и природных. Таким образом, технология информационного моделирования – это процесс управления всем жизненным циклом объекта.

Информационное моделирование также дает положительные результаты, например, при проектировании развития территорий, как в аспекте реконструкции и сноса устаревших зданий [Okakpu et al. 2019], так и при расчете потребности в различных социальных объектах и проектировании их размещения. Например, исследование Kim et al. показало возможность рассчитать потоки движения транспорта и пешеходные маршруты и с учетом этого разместить, например, школу таким образом, чтобы дети могли добираться до нее пешком наиболее безопасным маршрутом [Kim et al. 2015]. Это способствует укреплению здоровья и безопасности, а также снижает потребление энергии и выбросы CO₂.

Данные моделирования также полезны для оценки состояния окружающей среды и отдельных ее объектов. Так, к примеру, экологическая модель водоема позволяет контролировать уровень и качество воды в нем, наличие и

количество стойких загрязнений, состояние биосистемы и т.д. Так, в России уже реализуется проект «Цифровой Обь-Иртышский бассейн», который направлен на борьбу с обмелением рек Сибири и Урала и будет осуществляться на основе цифровой модели речной экосистемы для оперативного контроля водных ресурсов, оптимизации их использования и улучшения экологической обстановки в регионе. По словам разработчиков, цифровое моделирование экосистемы главных сибирских рек позволит выявить основные факторы, критически влияющие на уровень техногенной нагрузки, определить пути решения проблем, связанных с накопленным экологическим ущербом, и перейти к системной реализации мер по оздоровлению водных объектов [Прохоров, Лысачев 2020]. Проект по созданию цифрового двойника озера Байкал реализуется учеными Сибири [Байкал 2021].

Однако следует подчеркнуть, что современные технологии позволяют моделировать не только физические объекты, но и различные ситуации, такие как пожар, наводнение или оползень [Okakru et al. 2019].

Большинство приведенных примеров связано со способностью технологий информационного моделирования имитировать реальные объекты и процессы в виртуальной среде, что позволит прогнозировать изменение этих объектов с учетом определенных заданных факторов. Модель может автоматически адаптироваться к изменениям через параметрические отношения между объектами. Безусловно, для эффективности таких моделей ключевую роль играет инетроперабельность, т.е. способность модели взаимодействовать с различными системами, получать нужную информацию из внешних источников (например, социальных медиа, геоинформационных систем и т.д.), а затем ее анализировать, преобразуя в виртуальные модели, что, в свою очередь, обеспечивает необходимый уровень предикативной аналитики.

Однако на сегодняшний день примеры использования предикативной аналитики в прогнозировании последствий изменения климата для природных экосистем, а также создания информационных моделей природных объектов или процессов, являются единичными. Хотя, представляется, что их использование позволило бы более обоснованно подходить к оценке потенциальных рисков, например связанных с таянием вечной мерзлоты, включая прогнозы относительно разрушения расположенных на ней зданий и инфраструктуры; предсказывать возникновение таких природных катаклизмов, как наводнения, оползни и пожары; следить за состоянием водных объектов и лесов; и решать множество других задач на всех этапах процесса смягчения и адаптации к изменению климата.

Вместе с тем в России сегодня реализуются три национальных проекта: «Цифровая экономика», «Экология» и «Наука», каждый из которых содержит собственный набор целевых показателей. Обозначенные вопросы внедрения цифровых технологий для решения задач смягчения последствий и

адаптации к изменению климата на сегодняшний день не нашли комплексного решения ни в одном из них.

В связи с этим представляется принципиально важным, в качестве первого шага по интеграции указанных национальных проектов создать в рамках Госсовета или Совета по стратегическому развитию и нацпроектам рабочей группы, основной задачей которой была бы разработка поправок в указанные национальные проекты, включающих план мероприятий по широкому внедрению цифровых технологий по обозначенным выше направлениям смягчения и адаптации к изменению климата. Кроме того, упомянутые выше разработки, связанные с формированием цифровых двойников озера Байкал и Обь-Иртышского бассейна, должны быть использованы для всех стратегически значимых природных объектов, расположенных на территории России, включая зону вечной мерзлоты и бассейн Волги.

Однако очевидно, что это потребует серьезных бюджетных инвестиций, которые в сложных экономических условиях, вызванных пандемией COVID-19, вероятнее всего, будут отнесены на вторую, а то и более дальнюю «очередь». В связи с этим хочется вновь обратиться к мнению канд. техн. наук, доцента Московского филиала Военно-медицинской академии Дерябина Н.И., который подчеркивает, что именно «деятельность человека стала одним из основных факторов возникновения новых смертельных болезней, что по мере того, как человек будет продолжать уничтожать окружающую его природную среду, различные катастрофические стихийные бедствия и смертельные эпидемии будут возникать все чаще, пока не уничтожат все человечество» [Дерябин 2020].

Очень хочется надеяться, что этот мрачный прогноз не сбудется, и что у нас есть время исправить тот вред природе, который человечество уже успело нанести. Только начинать действовать нужно немедленно.

Библиография

Байкал и его цифровой двойник // Наука в Сибири. 2021. 01 фев. URL: <http://www.sbras.info/articles/science/baikal-i-ego-tsifrovoyi-dvoynik> (дата обращения 17.02.2021).

Мельников Р. В Астраханской области бороться с пожарами помогут беспилотники // Российская газета. 2015. 06 нояб. URL: <https://rg.ru/2015/11/06/reg-ufo/bespilotnik-anons.html> (дата обращения: 17.02.2021).

Вагнер К. Frankfurter Allgemeine Zeitung (Германия): Россия нехотя борется с климатическими изменениями // ИНОСМИ.РУ. 2021. 12 янв. URL: <https://inosmi.ru/politic/20210112/248885421.html> (дата обращения: 17.02.2021).

Волкова Н.Б. Предсказательная аналитика и системы поддержки принятия решений: применения для умного города // Искусственный интеллект. Предсказательная аналитика и системы поддержки принятия решений. М.: МФТИ. 2020. № 5. С. 82–90.

Вылегжанина У. Огонь виден из космоса. Регионы СЗФО минимизировали лесные пожары с помощью систем мониторинга // Российская газета – Экономика Северо-Запада. 2021. 09 фев. № 26 (8377). URL: <https://rg.ru/2021/02/09/reg-szfo/regiony-szfo-minimizirovali-lesnye-pozharys-pomoshchiu-sistem-monitoringa.html> (дата обращения: 17.02.2021).

Дерябин Н.И. Коэволюция интеллектуального социума (кибернетический подход) // Международная научная конференция «Коэволюция техники и общества в контексте цифровой эпохи»: сборник докладов. Москва, НИУ «МЭИ», 17–18 декабря 2020 г. / под общ. ред. А.Л. Андреева, З.К. Селивановой, В.И. Герасимова. М.: Издательский дом МЭИ, 2020. С. 200–205.

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год // М.: Росгидромет. 2020. URL: <http://www.meteorf.ru/press/news/20626/> (дата обращения: 17.02.2021).

Жилина И.Ю. Экономические последствия изменения климата // Россия и современный мир. 2020. № 3. С. 50–67. URL: <http://rossovmir.ru/article.php?id=719> (дата обращения 17.02.2021).

Как горит Сибирь. Карты, графики и фото пожаров в России // BBC. 2020. 30 июля. URL: <https://www.bbc.com/russian/features-53532961> (дата обращения: 17.02.2021).

Канищев М. Как очистить воздух в стране и не платить Европе карбоновый налог // Сноб. 2021. 09 фев. URL: <https://snob.ru/entry/203723/> (дата обращения: 17.02.2021).

Коданева С.И. Зеленые инвестиции в России и за рубежом: Проблемы, механизмы и перспективы // Россия и современный мир. 2020. № 3 (108). С. 68–88.

Лаурен А.-Л. Dagens Nyheter (Швеция): в поселке на краю земли больше нет льда // ИНОСМИ.РУ. 2021. 07 янв. URL: <https://inosmi.ru/social/20210107/248822603.html> (дата обращения: 17.02.2021).

Лаурен А.-Л. Dagens Nyheter (Швеция): Путин считает, что климатические изменения могут быть полезны // ИНОСМИ.РУ. 2020. 15 янв. URL: <https://inosmi.ru/politic/20201215/248752705.html> (дата обращения: 17.02.2021).

Мельников Р. В Астраханской области бороться с пожарами помогут беспилотники // Российская газета. 2015. 06 нояб. URL: <https://rg.ru/2015/11/06/reg-ufo/bespilotnik-anons.html> (дата обращения: 17.02.2021).

Мерзляков Р. Тайна Арчеды // Российская газета – Неделя – Юг России. 2021. 03 фев. № 22(8373). URL: <https://rg.ru/2021/02/03/reg-ufo/ekologi-nazvali-prichinu-izmeneniia-cveta-vody-v-reke-archeda.html> (дата обращения: 17.02.2021).

Мюллер Х. Der Spiegel (Германия): как вирус изменил мир // ИНОСМИ.РУ. 2020. 31 дек. URL: <https://inosmi.ru/social/20201231/248813388.html> (дата обращения: 17.02.2021).

Положихина М.А. Продовольственная безопасность России в условиях изменения климата // Экономические и социальные проблемы России. М.: ИНИОН РАН, 2021. № 1. С. 45–65.

Прохоров А., Лысачев М. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. Издание первое, исправленное и дополненное. М.: ООО «АльянсПринт», 2020. 401 с.

Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата // ООН. 1992. 9 мая. URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/climate_framework_conv.shtml (дата обращения: 17.02.2021).

Сигель С. Предиктивная аналитика – ключевые идеи // Искусственный интеллект. Предсказательная аналитика и системы поддержки принятия решений. М.: МФТИ. 2020. № 5. С. 10–17.

Умное око появилось в Ростовской области // COMNEWS. 2021. 01 фев. URL: <https://www.comnews.ru/content/212865/2021-02-01/2021-w05/umnoe-okno-poyavilos-rostovskoy-oblasti> (дата обращения: 17.02.2021).

Anbarasan M., Muthu B., Sivaparthipan C.B., Sundarasekar R., Kadry S., Krishnamoorthy S., Samuel D.J.R., Dasel A.A. Detection of flood disaster system based on IoT, big data and convolutional deep neural network // Computer Communications. 2020. 15 Jan. Vol. 150. P. 150–157. URL: <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2019.11.022> (дата обращения: 17.02.2021).

Bettini G., Gioli G., Felli R. Clouded skies: How digital technologies could reshape «Loss and Damage» from climate change // WIREs climate change. 2020. 23 Apr. Vol. 11, Issue 4. URL: <https://doi.org/10.1002/wcc.650> (дата обращения: 17.02.2021).

Cobbinah P.B. Urban resilience in climate change hotspot // *Land Use Policy*. 2021. Jan. Vol. 100. URL: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104948> (дата обращения: 17.02.2021).

Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. 3rd Edition. Hoboken, New Jersey. Published simultaneously in Canada. John Wiley & Sons, Inc., 2018. 688 p. URL: https://www.academia.edu/9730799/BIM_Handbook_A_guide_to_Building_Information_Modeling_for_owners_managers_designers_engineers_and_contractors (дата обращения: 17.02.2021).

Espinoza M.I., Aronczyk M. Big data for climate action or climate action for big data? // *Big Data & Society*. 2021. 11 Feb. Vol. 8, Issue 1. URL: <https://doi.org/10.1177/2053951720982032> (дата обращения: 17.02.2021).

Felice M.D., Trotta A., Bedogni L., Chowdhury K.R., Bononi L. Self-organizing aerial mesh networks for emergency communication // 2014 IEEE 25th Annu. Int. Symp. Pers. Indoor, Mob. Radio Commun., Washington: IEEE. 2014. P. 1631–1636. URL: <https://doi.org/10.1109/PIMRC.2014.7136429> (дата обращения: 17.02.2021).

Hromada E. Life cycle costing from the investor's and facility manager's point of view // *Central Europe Towards Sustainable Building 2016: Innovations for Sustainable Future*. 2016. Vol. 2. P. 1374–1380.

Kim J.I., Koo B.S., Suh S.D., Suh W.H. Integration of BIM and GIS for Formal Representation of Walkability for Safe Routes to School Programs // *Journal of Civil Engineering*. 2015. September. N 20(5). Vol. 20. P. 1669–1675.

Kim M.K., Cheng J.C., Sohn H., Chang C.C. A framework for dimensional and surface quality assessment of precast concrete elements using BIM and 3D laser scanning // *Automation in Construction*. 2015. January. Vol. 49, Part B. P. 225–238.

Lee H.W., Oh H., Kim Y., Choi K. Quantitative analysis of warnings in building information modeling (BIM) // *Automation in Construction*. 2015. March. Vol. 51. P. 23–31.

Li J., Li N., Peng J., Cui H., Wu Zh. A review of currently applied building information modeling tools of constructions in China // *Journal of Cleaner Production*. 2018. August. Vol. 201. P. 358–368.

Li Z., Cheng G., Cheng W., Mei H. People as sensors: Towards a human – machine cooperation approach in monitoring landslides in the three Gorges reservoir region // *Cyber-Physical Systems: Architecture, Security and Application* / ed. by Guo S., Zeng D. Cham: Springer International Publishing. 2019. January. P. 43–53.

Lu Z., Cao G., La Porta T. TeamPhone: networking SmartPhones for disaster recovery // *IEEE Transactions on Mobile Computing*. 2017. Dec. Vol. 16, N 12. P. 3554–3567. URL: <https://doi.org/10.1109/TMC.2017.2695452> (дата обращения: 17.02.2021).

Matejka P., Vitasek S. Comparison of different cost estimation methods with use of building information modelling (BIM) // 17th International Scientific Conference Engineering for Rural Development. 2018. May. P. 843–849. DOI: 10.22616/ERDev2018.17. N 154. URL: <https://www.tf.llu.lv/conference/proceedings2018/Papers/N154.pdf> (дата обращения: 17.02.2021).

Ober K., Sakdapolrak P. Whose climate change adaptation «barriers»? Exploring the coloniality of climate change adaptation policy assemblages in Thailand and beyond // *Singapore Journal of Tropic Geography*. 2019. Dec. Vol. 41. Issue 1. P. 86–104. URL: <https://doi.org/10.1111/sjtg.12309> (дата обращения: 17.02.2021).

Ogie R.I., Clarke R.J., Forehead H., Perez P. Crowdsourced social media data for disaster management: lessons from the PetaJakarta.org project // *Computers, Environment and Urban Systems*. 2019. Jan. Vol. 73. P. 108–117. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2018.09.002> (дата обращения: 17.02.2021).

Okakpu A., GhaffarianHoseini A., Tookey J., Haar J., Ghaffarianhoseini A. Exploring the environmental influence on BIM adoption for refurbishment project using structural equation modelling // *Architectural Engineering and Design Management*. 2019. Jan. Vol. 16. Issue 1. P. 41–57.

Pihl E., Martin M.A. et al. 10 New Insights in Climate Science // *Future Earth*. 2019. 40 p. URL: <https://futureearth.org/wp-content/uploads/2019/12/10-New-Insights-in-Climate-Science-2019.pdf> (дата обращения: 17.02.2021).

Saldanha A.G. Applications of building information modelling for planning and delivery of rapid transit // *Municipal Engineer*. 2019. June. Vol. 172, N 2. P. 122–132.

Sarker N.I., Peng Y., Yiran C., Shouse R.C. Disaster resilience through big data: Way to environmental sustainability // *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2020. Dec. Vol. 51. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101769> (дата обращения: 17.02.2021).

Wu R., Xie Z. Identifying the impacts of income inequality on CO₂ emissions: Empirical evidences from OECD countries and non-OECD countries // *Environmental Science and Pollution Research*. 2020. Sep. URL: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10733-z> (дата обращения 17.02.2021).

Yu M., Yang C., Li Y. Big data in natural disaster management: a review // *Geosciences*. 2018. Vol. 8. N 5. URL: <https://doi.org/10.3390/geosciences8050165> (дата обращения 17.02.2021).

References

Anbarasan M., Muthu B., Sivaparthipan C.B., Sundarasekar R., Kadry S., Krishnamoorthy S., Samuel D.J.R., Dasel A.A. Detection of flood disaster system based on IoT, big data and convolutional deep neural network // *Computer Communications*. 2020. Vol. 150. P. 150–157. URL: <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2019.11.022> (date of access: 17.02.2021).

Bajkal i ego cifrovoj dvojniki [Baikal and its digital twin] // *Nauka v Sibiri*. [Science in Siberia]. 2021. 01 Feb. URL: <http://www.sbras.info/articles/science/bajkal-i-ego-tsifrovoy-dvojniki> (date of access: 17.02.2021). (In Russ.)

Bettini G., Gioli G., Felli R. Clouded skies: How digital technologies could reshape «Loss and Damage» from climate change // *WIREs climate change*. 2020. Vol. 11. Issue 4. URL: <https://doi.org/10.1002/wcc.650> (date of access: 17.02.2021).

Cobbinah P.B. Urban resilience in climate change hotspot // *Land Use Policy*. 2021. Vol. 100. URL: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104948> (date of access: 17.02.2021).

Deryabin N.I. Koe`volyuciya intellektual`nogo sociuma (kiberneticheskij podxod) [Coevolution of intellectual society (cybernetic approach)] // *Mezhdunarodnaya nauchnaya konferenciya «Koe`volyuciya texniki i obshhestva v kontekste cifrovoj e`poxi»: sbornik dokladov* [International Scientific Conference «Coevolution of Technology and Society in the Context of the Digital Age»: collection of reports]. Moscow, national research UNIVERSITY «MPEI», December 17–18, 2020 / edit. A.L. Andreev, Z.K. Selivanova, V.I. Gerasimov., 2020. P. 200–205. (In Russ.)

Doklad ob osobennostyax klimata na territorii Rossijskoj Federacii za 2019 god [Report on the peculiarities of the climate on the territory of the Russian Federation for 2019]. M.: Roshydromet. 2020. 97 p. URL: <http://www.meteorf.ru/press/news/20626/> (date of access: 17.02.2021). (In Russ.)

Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. 3 nd Edition. John Wiley & Sons, Inc., 2018. 688 p.

Espinoza M.I., Aronczyk M. Big data for climate action or climate action for big data? // *Big Data & Society*. 2021. Vol. 8, Issue 1. URL: <https://doi.org/10.1177/2053951720982032> (date of access: 17.02.2021).

Felice M.D., Trotta A., Bedogni L., Chowdhury K.R., Bononi L. Self-organizing aerial mesh networks for emergency communication // 2014 IEEE 25 th Annu. Int. Symp. Pers. Indoor, Mob.

Radio Commun., IEEE. 2014. P. 1631–1636. URL: <https://doi.org/10.1109/PIMRC.2014.7136429> (date of access: 17.02.2021).

Hromada E. Life cycle costing from the investor's and facility manager's point of view // Central Europe Towards Sustainable Building 2016: Innovations for Sustainable Future. 2016. Vol. 2. P. 1374–1380.

Kak gorit Sibir'. Karty', grafiki i foto pozharov v Rossii [How to burn Siberia. Maps, graphs and photos of fires in Russia] // BBC. 2020. 30 Jul. URL: <https://www.bbc.com/russian/features-53532961> (date of access: 17.02.2021). (In Russ.)

Kanishchev M. Kak ochistit' vozdukh v strane i ne platit' Evrope karbonovyj nalog [How to clean the air in the country and not pay Europe a carbon tax] // Snob. 2021. 09 Feb. URL: <https://snob.ru/entry/203723/> (date of access: 17.02.2021). (In Russ.)

Kim J.I., Koo B.S., Suh S.D., Suh W.H. Integration of BIM and GIS for Formal Representation of Walkability for Safe Routes to School Programs // Journal of Civil Engineering. 2016. Vol. 20. P. 1669–1675.

Kim M.K., Cheng J.C., Sohn H., Chang C.C. A framework for dimensional and surface quality assessment of precast concrete elements using BIM and 3D laser scanning // Automation in Construction. 2015. Vol. 49, Part B. P. 225–238.

Kodaneva S.I. Zeleny'e investicii v Rossii i za rubezhom: Problemy', mexanizmy' i perspektivy' [Green Investments in Russia and abroad: Problems, mechanisms and prospects] // Rossiya i sovremennyj mir [Russia and the modern world]. 2020. N 3(108). P. 68–88. (In Russ.)

Lauren A.-L. Dagens Nyheter (Sweden): v poselke na krayu zemli bol'she net l'da [There is no more ice in the village at the end of the earth] // INOSMI.RU. 2021. 07. Jan. URL: <https://inosmi.ru/social/20210107/248822603.html> (date of access: 17.02.2021). (In Russ.)

Lauren A.-L. Dagens Nyheter (Sweden): Putin schitaet, chto klimaticheskie izmeneniya mogut byt' polezny' [Putin believes that climate change can be useful] // INOSMI.RU. 2020. 15. Dec. URL: <https://inosmi.ru/politic/20201215/248752705.html> (date of access: 17.02.2021). (In Russ.)

Lee H.W., Oh H., Kim Y., Choi K. Quantitative analysis of warnings in building information modeling (BIM) // Automation in Construction. 2015. Vol. 51. P. 23–31.

Li J., Li N., Peng J., Cui H., Wu Zh. A review of currently applied building information modeling tools of constructions in China // Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 201. P. 358–368.

Li Z., Cheng G., Cheng W., Mei H. People as sensors: Towards a human – machine cooperation approach in monitoring landslides in the three Gorges reservoir region // Cyber-Physical Systems: Architecture, Security and Application / ed. by Guo S., Zeng D. Cham: Springer International Publishing. 2019. P. 43–53.

Lu Z., Cao G., La Porta T. TeamPhone: networking SmartPhones for disaster recovery // IEEE Transactions on Mobile Computing. 2017. Vol. 16, N 12. P. 3554–3567. URL: <https://doi.org/10.1109/TMC.2017.2695452> (date of access: 17.02.2021).

Matejka P., Vitasek S. Comparison of different cost estimation methods with use of building information modelling (BIM) // 17 th International Scientific Conference Engineering for Rural Development. May 2018. P. 843–849.

Melnikov R. V Astraxanskoj oblasti borot'sya s pozharami pomogut bespilotniki [In the Astrakhan region, drones will help fight fires] // Rossiyskaya Gazeta. [Russian newspaper]. 2021. 04. Feb. URL: <https://rg.ru/2015/11/06/reg-ufo/bespilotnik-anons.html> (date of access: 17.02.2021). (In Russ.)

Merzlyakov R. Tajna Archedy' [The Secret of Archeda] // Rossiyskaya Gazeta [Russian newspaper]. 2021. 03 Feb. N 22(8373). URL: <https://rg.ru/2021/02/03/reg-ufo/ekologi-nazvali-prichinu-izmeneniia-cveta-vody-v-reke-archeda.html> (date of access: 17.02.2021). (In Russ.)

Müller H. Der Spiegel (Germany): kak virus izmenil mir [how the virus changed the world] // INOSMI.RU. 2020. 31 Dec. URL: <https://inosmi.ru/social/20201231/248813388.html> (date of access: 17.02.2021).

Ober K., Sakdapolrak P. Whose climate change adaptation «barriers»? Exploring the coloniality of climate change adaptation policy assemblages in Thailand and beyond // Singapore Journal of Tropic Geography. 2019. Vol. 41, Issue 1. P. 86–104. URL: <https://doi.org/10.1111/sjtg.12309> (date of access: 17.02.2021).

Ogie R.I., Clarke R.J., Forehead H., Perez P. Crowdsourced social media data for disaster management: lessons from the PetaJakarta.org project // Computers, Environment and Urban Systems. 2019. Vol. 73. P. 108–117. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2018.09.002> (date of access: 17.02.2021).

Okakpu A., GhaffarianHoseini A., Tookey J., Haar J., Ghaffarianhoseini A. Exploring the environmental influence on BIM adoption for refurbishment project using structural equation modelling // Architectural Engineering and Design Management. 2019. Vol. 16, issue 1. P. 41–57.

Pihl E., Martin M.A. et al. 10 New Insights in Climate Science // Future Earth. 2019. 40 p. URL: <https://futureearth.org/wp-content/uploads/2019/12/10-New-Insights-in-Climate-Science-2019.pdf> (date of access: 17.02.2021).

Polozhikhina M.A. Prodovol'stvennaya bezopasnost' Rossii v usloviyax izmeneniya klimata [Food security of Russia in the context of climate change] // E'konomicheskie i social'ny'e problemy' Rossii [Economic and social problems of Russia]. Moscow: INION RAS, 2021. N 1. P. 45–65. (In Russ.)

Prokhorov A., Lysachev M. Cifrovoy dvojniki. Analiz, trendy', mirovoj opy't [Digital double. Analysis, trends, world experience]. Izdanie pervoe, ispravlennoe i dopolnennoe [The first edition, corrected and supplemented]. M.: LLC «Alliansprint», 2020. 401 p. (In Russ.)

Ramochnaya konvenciya Organizacii Ob`edinenny'x Nacij ob izmenenii klimata [United Nations Framework Convention on Climate Change] // OOH [UN]. 1992. URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/climate_framework_conv.shtml (date of access: 17.02.2021). (In Russ.)

Siegel S. Prediktivnaya analitika – klyuchevy'e idei [Predictive Analytics-key ideas] // Iskusstvenny'j intellekt. Predskazatel'naya analitika i sistemy' podderzhki prinyatiya reshenij [Artificial intelligence. Predictive analytics and decision support systems]. Moscow. MIPT. 2020. N 5. P. 10–17. (In Russ.)

Saldanha A.G. Applications of building information modelling for planning and delivery of rapid transit // Municipal Engineer. 2019. June. Vol. 172, N 2. P. 122–132. DOI: 10.1680/jmuen.16.00045.

Sarker N.I., Peng Y., Yiran C., Shouse R.C. Disaster resilience through big data: Way to environmental sustainability // International Journal of Disaster Risk Reduction. 2020. Vol. 51. P. 101769. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101769> (date of access: 17.02.2021).

Umnoe oko poyavilos' v Rostovskoj oblasti [Smart eye appeared in the Rostov region] // COMNEWS. 2021. 01 Feb. URL: <https://www.comnews.ru/content/212865/2021-02-01/2021-w05/umnoe-okoyavilos-rostovskoy-oblasti> (date of access: 17.02.2021). (In Russ.)

Vagner K. Frankfurter Allgemeine Zeitung (Germany): Rossiya nexotya boretsya s klimaticheskimi izmeneniyami [Russia reluctantly fights climate change] // INOSMI.RU. 2021. 12 Jan. URL: https://inosmi.ru/faz_de/ (date of access: 17.02.2021). (In Russ.)

Volkova N.B. Predskazatel'naya analitika i sistemy' podderzhki prinyatiya reshenij: prime-neniya dlya umnogo goroda [Predictive analytics and decision support systems: applications for smart cities] // Iskusstvenny'j intellekt. Predskazatel'naya analitika i sistemy' podderzhki prinyatiya reshenij [Artificial intelligence. Predictive analytics and decision support systems]. Moscow. MIPT. 2020. N 5. P. 82–90. (In Russ.)

Vylegzhanina U. Ogon` viden iz kosmosa. Regiony` SZFO minimizirovali lesny`e pozhary` s pomoshh`yu sistem monitori [The fire is visible from space. The regions of the Northwestern Federal District minimized forest fires with the help of monitoring systems] // Rossiyskaya Gazeta [Russian newspaper]. 2021. 09 Feb. N 26(8377). URL: <https://rg.ru/2021/02/09/reg-szfo/regiony-szfo-minimizirovali-lesnye-pozhary-s-pomoshchiu-sistem-monitoringa.html> (date of access: 17.02.2021). (In Russ.)

Wu R., Xie Z. Identifying the impacts of income inequality on CO₂ emissions: Empirical evidences from OECD countries and non-OECD countries // Environmental Science and Pollution Research. 2020. URL: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10733-z> (date of access: 17.02.2021).

Yu M., Yang C., Li Y. Big data in natural disaster management: a review // Geosciences. 2018. Vol. 8, N 5. URL: <https://doi.org/10.3390/geosciences8050165> (date of access: 17.02.2021).

Zhilina I.Yu. E`konomicheskie posledstviya izmeneniya klimata [Economic consequences of climate change] // Rossiya i sovremenny`j mir. [Russia and the modern world]. 2020. N 3. P. 50–67. (In Russ.)