

УДК 551+004.9

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ МОНИТОРИНГА ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ПРИМЕРЕ БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ

И. В. Бычков²[0000-0002-1765-0769], Д. П. Гладкочуб¹[0000-0001-7227-8253], **Г. М. Ружников²**,
К. Ж. Семинский¹[0000-0001-7607-0417], В. В. Парамонов²[0000-0002-4662-3612],
С. В. Алексеев¹[0000-0002-3853-5022], С. А. Борняков¹[0000-0002-5119-1092], А. А. Добрынина¹,
А. А. Рыбченко¹[0000-0003-2615-8423], А. М. Кононов¹[0000-0003-2379-4782],
А. В. Поспеев¹[0000-0001-5938-1942], С. В. Рассказов¹[0000-0001-9084-1652],
В. А. Саньков¹[0000-0002-1066-2601], И. К. Семинский¹[0000-0002-7530-0716]

¹Институт земной коры СО РАН 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128

²Институт Динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова
СО РАН, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 134

Аннотация

Байкальская природная территория (БПТ) – территория, прилегающая к озеру Байкал, являющемуся уникальным природным объектом и, в соответствии с конвенцией ЮНЕСКО, «Объектом всемирного природного наследия». Байкал находится на центральной части Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) – самой активной сейсмической зоной, расположенной в середине России. Развитие БРЗ приводит к возникновению опасных геологических процессов, которые могут привести к нарушению экологического равновесия в системе озера Байкал и окружающей территории. Кроме того, эти процессы и явления представляют реальную угрозу для бесперебойного функционирования магистральных коммуникаций, ГЭС и стратегически важных производств в регионе, относящуюся по классификации МЧС России к первой категории опасности. Для обеспечения постоянного мониторинга и прогнозирования экологической обстановки БПТ организованы систематические наблюдения, а также получение и анализ информации об активности опасных геологических процессов в цифровом виде. Цифровая трансфор-

© И. В. Бычков, Д. П. Гладкочуб, Г. М. Ружников, К. Ж. Семинский, В. В. Парамонов, С. В. Алексеев, С. А. Борняков, А. А. Добрынина, А. А. Рыбченко, А. М. Кононов, А. В. Поспеев, С. В. Рассказов, В. А. Саньков, И. К. Семинский, 2022.

Данная статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

мация мониторинга опасных геологических процессов, вытекающая из цифровизации процессов и развития соответствующей инфраструктуры, обеспечивает возможность использования новых моделей и методов, более гибких подходов к анализу протекающих процессов и предсказанию возможных экстремальных явлений. В настоящей работе предлагается цифровая платформа, обеспечивающая поддержку цифровой трансформации мониторинга опасных геологических процессов на примере БПТ. Созданная и развиваемая платформа может быть также использована для экологического мониторинга БПТ в целом.

Ключевые слова: цифровая платформа, цифровая трансформация, сейсмичность, землетрясение, геофизика, опасные геологические процессы, мониторинг, прогноз, модели.

ВВЕДЕНИЕ

Байкальская природная территория (БПТ) – территория, в состав которой входят озеро Байкал, водоохранная зона, прилегающая к озеру Байкал, его водосборная площадь в пределах территории Российской Федерации, а также особо охраняемые природные территории, прилегающие к озеру, общей шириной до 200 километров на запад и северо-запад от него [1]. БПТ относится к районам с высокой сейсмической активностью [2]. Мониторинг сейсмической активности и связанных с ними опасных геологических процессов (ОГП) представляет огромный интерес как для фундаментальной науки, так и для задач обеспечения безопасности и прогнозирования перспективного социально-экономического развития региона.

Исследования ОГП базируются на передаче и обработке большого объема научных данных, полученных различными способами. Широкое использование цифровых технологий позволяет обеспечить не только повышение эффективности традиционных методов, но и разработку и внедрение инновационных. Переход к цифровым технологиям требует создания как инструментальной базы для сбора сведений в цифровом виде, так и создания инфраструктуры для передачи и обработки данных. В целом это позволяет повысить доступность и эффективность обработки больших объемов данных [3]. Внедрение цифровых технологий

обеспечивает преобразование различных бизнес-процессов, связанных со сбором и обработкой данных о геологических процессах, изменение устоявшихся моделей и форматов взаимодействия между участниками информационного обмена, что является признаком цифровой трансформации.

Основой цифровой трансформации мониторинга опасных геологических процессов БПТ служат платформенный подход, а также использование сервис-ориентированной парадигмы, базирующейся на стандартах Open Geospatial Consortium¹, инфраструктурного подхода, декларативных спецификаций, а также сквозных и веб-технологий сбора и обработки больших объёмов тематических пространственно-временных данных. Цифровая платформа, являясь открытой системой алгоритмизированного сетевого взаимодействия участников мониторинга БПТ, аккумулирует в себе новейшие методы, технологии и предоставляет доступ к большим объёмам пространственно-временных данных, сервисам их обработки, а также к цифровым инструментам и услугам.

На первом этапе проведения цифровой трансформации ОГП БПТ формируется программно-аппаратное обеспечение пилотной системы комплексного цифрового мониторинга опасных геологических процессов (землетрясений, оползней, селевых потоков, обвалов и др.), оказывающих существенное влияние на экологическое состояние Байкальской природной территории и озера Байкал. При этом измерительный комплекс системы включает современное оборудование, фиксирующее параметры деформаций горных пород, движений земной коры, сейсмичности, эманаций радона, электропроводности пород, режима подземных вод и экзогенных явлений.

СЕТЬ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Основу наблюдательной сети в пределах каждого полигона составляет пункт комплексного мониторинга ОГП. Инфраструктуру полигона дополняют станции систематических сезонных измерений и наблюдений за инженерно-геологическими и другими явлениями, на фоне которых активизируется ОГП. Измерения производятся с использованием современного отечественного и зарубежного

¹ <https://www.ogc.org>

оборудования. Приборы устанавливаются как на поверхности, так и в небольших подземных бункерах и скважинах для того, чтобы снизить влияние на измерения атмосферных факторов. Оборудование для сбора, преобразования и передачи данных располагается в павильонах на поверхности.

На сегодняшний день Институтом земной коры (ИЗК) СО РАН на БПТ реализовано три пункта комплексных геофизических измерений, отвечающих за мониторинг опасных геологических процессов на территории полигонов «Бугульдейка», «Приольхонье» и «Южный Байкал». Связь с пунктами позволяет в режиме on-line получать данные и размещать в доступе на сервере в Центре комплексного мониторинга опасных геологических процессов ИЗК СО РАН [4].

РАЗРАБОТКА СЦЕНАРИЕВ РАЗВИТИЯ ОПАСНЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПОИСК ПРЕДВЕСТНИКОВ ИХ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Одним из наиболее опасных геологических процессов на территории БПТ является сейсмичность, которая проявляется в результате перемещений по разломам Байкальской рифтовой зоны. Ежегодно в Прибайкалье фиксируется несколько тысяч землетрясений в год, из которых 1–2 десятка ощущаются населением региона. Только за последний период инструментальных наблюдений произошло несколько сильных землетрясений (1950, 1957, 1959 гг.). Кроме разрушений, происходящих непосредственно от сейсмического толчка, землетрясения являются триггерами других ОГП – селей, обвалов, оползней, лавин. В связи с этим данные мониторинга ОГП на БПТ рассмотрены нами на примере отражения в них сейсмических активизаций.

На основе анализа сейсмического режима, проведенного в прошлые годы, установлены пространственно-временные закономерности проявления сейсмической активности, которые легли в основу прогнозных построений. Составлены карты долгосрочного прогноза, установлены средние периоды повторяемости землетрясений разной интенсивности. Вместе с тем, недавно эта периодичность была существенно нарушена. В течение полугодия (сентябрь 2020 г. – январь 2021 г.) в БРЗ произошло три достаточно сильных землетрясения (Быстринское, Кударинское, Хубсугульское), которые ощущались в крупных городах Прибайкалья с интенсивностью 5 баллов (Рисунок 1).

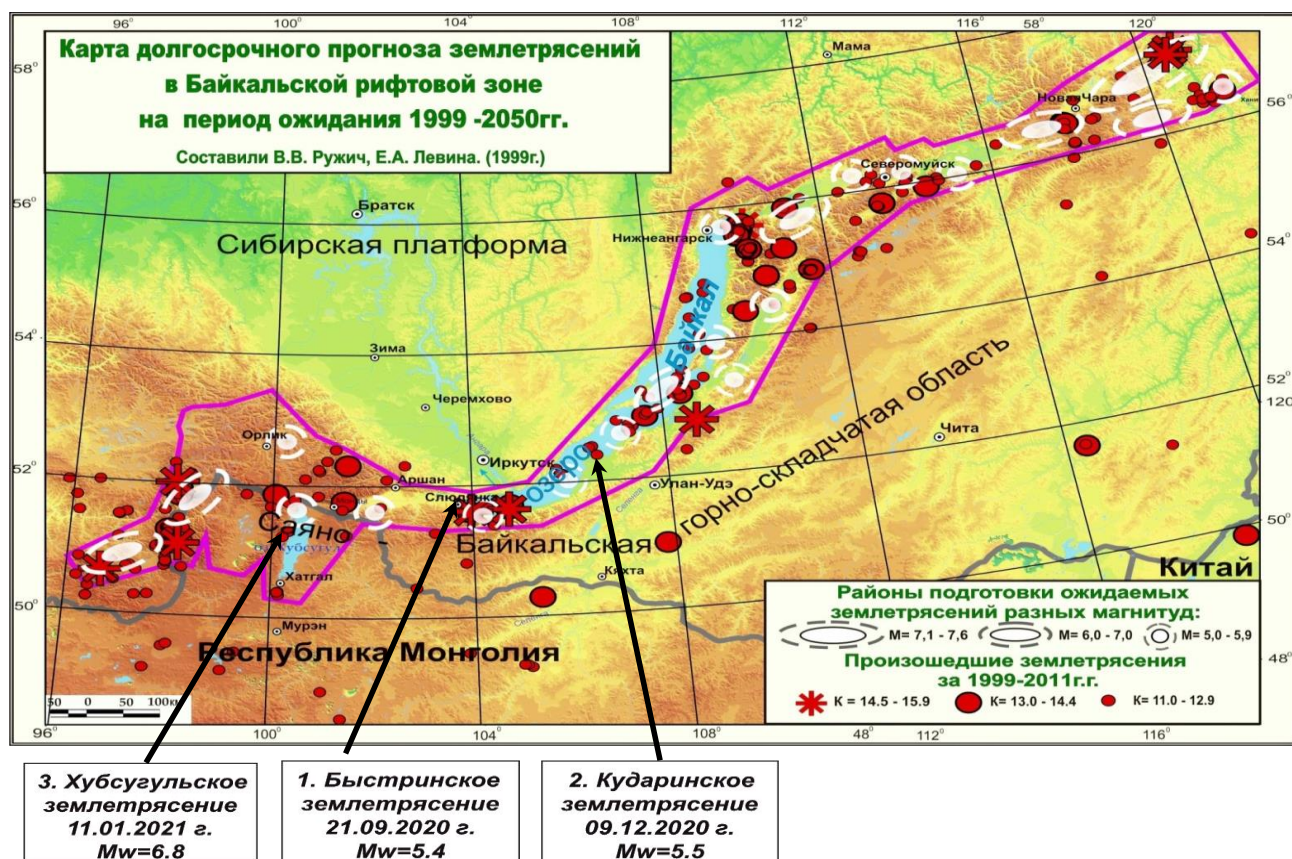


Рисунок 1. Эпицентры землетрясений интенсивностью 5 баллов, сентябрь 2020 г. – январь 2021 г.

ВЫЯВЛЕНИЕ ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ БПТ

Ввиду того, что сейсмическая активизация, предшествующая землетрясению или рою землетрясений, – масштабный и относительно скоротечный процесс, отражаться она может во многих физических полях планеты. Предвестниками землетрясений и явлениями, сопутствующими сейсмической активизации, могут быть изменения:

- напряженно-деформированного состояния горных пород;
- характера микросейсмического шума;
- электропроводности сейсмогенерирующего слоя и аномальное поведение вертикальной компоненты электротеллурического поля;
- объемной активности почвенного радона;
- химического состава поверхностных вод;
- уровня воды в скважинах;
- и проч.

На сегодняшний день геофизики имеют многолетний массив измерений, что позволяет выявить наиболее вероятные сценарии отражения сейсмической активизации в физических полях, измеренных в различных областях БПТ. Для обеспечения своевременного комплексного анализа данных предлагается использовать электронную цифровую платформу, служащую интерфейсом для удобного доступа к базе данных геофизических измерений.

ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Научные исследования как об опасных геологических процессах, так и в целом о состоянии экологии озера Байкал и Байкальской природной территории, основаны на больших цифровых базах данных (БД) мониторинга, знаниях, моделях и реализующем их программном обеспечении, локализованных в институтах СО РАН, вузах, территориальных органах власти и управления [5, 6]. Можно отметить, что на текущий момент обработка и анализ данных мониторинга проводятся эпизодически силами исследователей. Использование ручной работы исследователей является слабым звеном для реализации жизненного цикла обработки данных. Поэтому переход к регулярной обработке и анализу данных обосновывает минимизацию или полное исключение ручной работы исследователей. Следовательно, методы обработки и анализа данных должны быть полностью автоматизированы и оформлены в виде сервисов. Временной интервал между итерациями обработки данных зависит от решаемой задачи. Это обеспечит возможность проведения открытого информационного обмена данными экологического мониторинга БПТ среди заинтересованных субъектов. Это, в свою очередь, позволит повысить эффективность проведения комплексных междисциплинарных научных исследований и внедрение их результатов в управлении территориальным развитием. Таким образом, актуальна задача проведения цифровой трансформации в систему экологического мониторинга БПТ и, в частности, мониторинга опасных геологических процессов, т. е. необходимо использовать современные цифровые технологии и сервисы обработки, хранения больших объёмов пространственно-временных данных и знаний, сервис-ориентированной парадигмы, стандартов OGC, веб-сервисов, а также внедрять современные распределённые информационно-телекоммуникационные технологии.

Цифровая платформа экологического мониторинга¹, разрабатываемая Институтом динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН, является не только средой для накопления, обмена и управления данными в структурированном виде, но и обеспечивает поддержку взаимодействия участников цифровой экосистемы (участников мониторинга) через технологические интерфейсы платформы [7]. При этом цифровая платформа обеспечивает возможность сбора, хранения, обработки, анализа как цифровых данных мониторинга опасных геологических процессов, так и больших массивов разнородных пространственно-временных данных. Цифровая платформа реализует и поддерживает комплекс математических и информационных моделей, сервисов и методов машинного обучения и состоит из трех базовых компонент: инструментальной, инфраструктурной и прикладной.

Инструментальная целевая компонента платформы обеспечивает доступ участников целевой экосистемы мониторинга к разработке и отладке прикладных информационных и программно-аппаратных средств, предоставляя им инструментальные сервисы для обработки пространственно-временных данных и их интерфейсов. Для сбора данных в виде файлов развернута система Next Cloud, которая предоставляет систему хранения файлов и обмена данными. При этом каждый пользователь имеет список контактов, возможность предоставить свои данные всем или конкретным пользователям. Для обработки данных применяется Jupyter Notebook как наиболее мощный инструмент для анализа в интерактивном виде. Он объединяет программный код, математические уравнения и визуализацию в виде одного документа. Для организации многопользовательской работы используется JupyterHub, который позволяет настраивать рабочее пространство: директории пользователей, выбрать Docker образ, задать характеристики вычислительных узлов и другие параметры.

С точки зрения пользователя работа с цифровой платформой на уровне инструментальной компоненты проводится с помощью трех систем:

- 1) Геопортал (сбор и публикация реляционных данных) [8];
- 2) Next Cloud (сбор и публикация данных в виде файлов);
- 3) JupyterHub (анализ данных).

¹ <https://baikal-project.icc.ru>

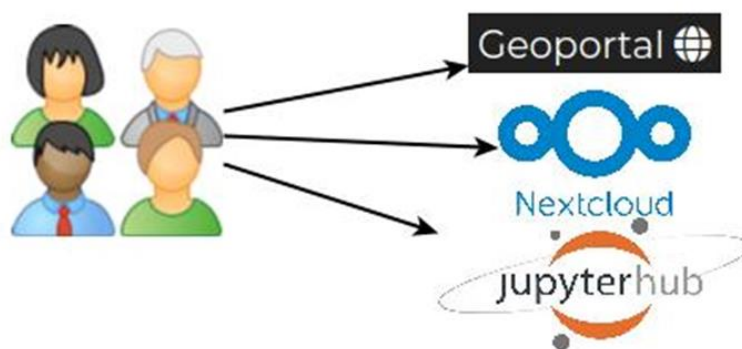


Рисунок 2. Подсистемы, с которыми взаимодействуют пользователи.

Интеграция JupyterHub, NextCloud и геопортала происходит на уровне системы хранения данных (СХД) и общей схемы авторизации. Регистрация пользователей производится в системе NextCloud, в которой предоставляется директория в СХД, где пользователь может хранить собственные данные в виде файлов. Эта директория также предоставляется пользователю в Геопортале и Jupyter Notebook.

Инфраструктурная цифровая платформа обеспечивает создание прикладных программно-аппаратных средств мониторинга, тематических WPS-сервисов обработки и распределённого хранения данных на основе высокопроизводительной информационно-аналитической среды, сервис-ориентированных и сквозных технологий. Проведение цифровой трансформации неразрывно связано с разработкой специализированной инфраструктуры, направленной на интеграцию данных мониторинга, получаемых различными исследовательскими группами, а также применение различных сервисов, в том числе распределенных, для их обработки. Для решения таких задач была создана вычислительная инфраструктура, обеспечивающая всем заинтересованным исследователям возможность хранения больших объёмов разноформатных пространственно-временных данных, высокоскоростной доступ к ним и возможность выполнения высоконагруженных вычислений. Инфраструктура состоит из связанных высокоскоростной сетью передачи данных на основе 10G-Ethernet системы хранения данных на базе Infortrend EonStor GS 1000 Gen2 (736 ТБ емкости), высокопроизводительной системы хранения данных на базе HPE MSA 2060 (27 ТБ емкости), высокоскоростной сети хранения данных (SAN), функционирующей на базе протокола Fibre Channel

12G, вычислительного кластера из 15 серверов с GPU NVidia RTX- 3080, 3090 (для машинного обучения). На базе основных инфраструктурных компонент с использованием системы виртуализации VMWare vSphere 7 сформирована облачная платформа (рРисунок 3), консолидирующая сетевые и вычислительные ресурсы с ресурсами систем (сети) хранения данных и гибко предоставляющая их для всех систем и сервисов проекта. Схема сетевой инфраструктуры цифровой платформы приведена на Рисунок 4.

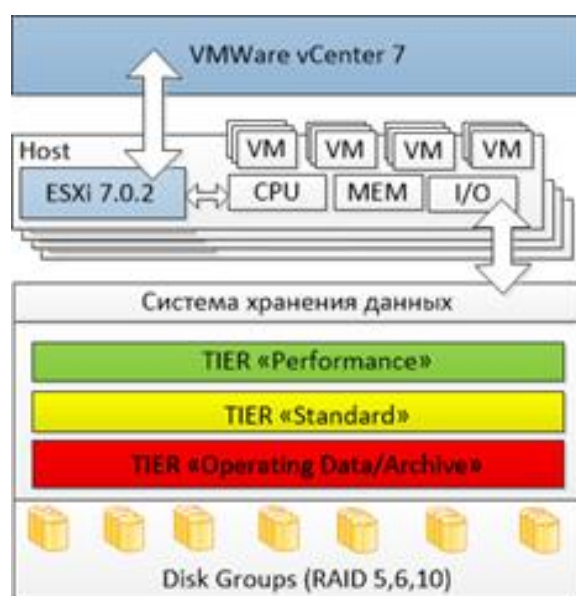


Рисунок 3. Облачная информационно-вычислительная платформа.

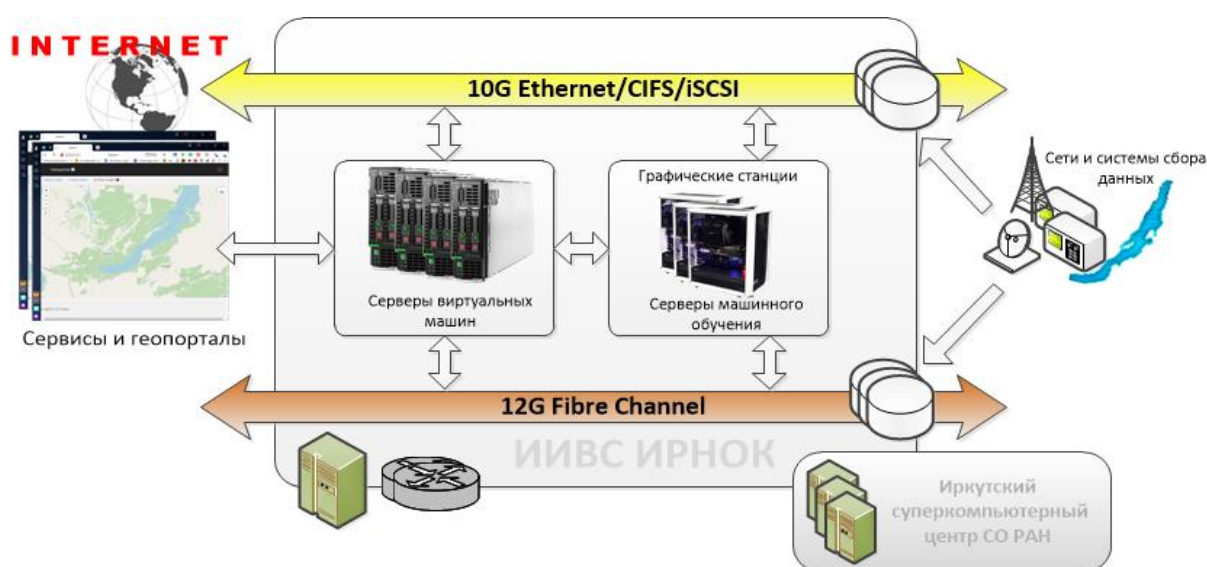


Рисунок 4. Сетевая инфраструктура цифровой платформы.

Прикладная цифровая платформа оперирует обработанными данными на уровне отдельной группы или вида мониторинга в целом, а также поддерживает алгоритмический обмен услугами (сервисами) между участниками цифровой экосистемы с использованием информационно-аналитической среды и технологической инфраструктуры. При реализации цифрового мониторинга необходима организация жизненного цикла обработки данных (рРисунок 5), которая обеспечивает регулярное выполнение всех ее этапов.



Рисунок 5. Жизненный цикл обработки данных

Существует множество методов, используемых для решения задач оценки и прогнозирования опасных геологических процессов и экологического равновесия на БПТ. Часть из методов создана в виде сервисов. Реализуемая цифровая платформа обеспечивает возможность сравнения имеющихся сервисов, а также добавления новых.

На сегодня разработаны и проходят апробацию основные компоненты цифровой платформы, обеспечивающие сбор, хранение и предоставление пространственно-временных данных, в том числе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), данных, получаемых с беспилотных летательных аппаратов, данных мониторинговых станций. Создана инфраструктура для разработки сервисов обработки мониторинговых данных, требующих высокопроизводительных вычислений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований предложена цифровая платформа, обеспечивающая цифровую трансформацию мониторинга опасных геологических процессов на примере БПТ. Данная платформа обеспечивает сбор, накопление и анализ данных об опасных геологических процессах и обеспечивает экологический мониторинг БПТ. В целом цифровая платформа аккумулирует в себе новейшие методы и технологии и предоставляет доступ к большим объемам пространственно-временных данных, сервисам их обработки, а также к цифровым инструментам и услугам. В рамках мониторинга опасных геологических процессов цифровая платформа позволяет аккумулировать в цифровом виде данные станций систематических сезонных измерений и наблюдений за инженерно-геологическими и другими явлениями, на фоне которых активизируется ОГП. Собранные данные используются для составления сценариев будущего развития опасных геологических процессов на территории БПТ, а также выявления предвестников их экстремальных проявлений. При этом программные сервисы, реализующие данные модели, могут являться как частью платформы, так и вызываться удаленно. Так обеспечивается возможность сопоставления имеющихся и применения новых моделей и методов, обеспечивающих более гибкие подходы к анализу протекающих процессов и предсказанию возможных экстремальных явлений. Потенциал наполнения данными и сервисами, в том числе и из смежных областей, делают платформу востребованной для решения задач экологического мониторинга. В свою очередь это представляет интерес не только для решения фундаментальных научных задач, но и задач социально-экономического развития БПТ.

Благодарности

Работа выполнена в рамках гранта № 075-15-2020-787 Министерства науки и высшего образования РФ на выполнение крупного научного проекта по приоритетным направлениям научно-технологического развития (проект «Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Регулирование в области охраны озера Байкал // Росприроднадзор. URL: <https://03.rpn.gov.ru/activity/baikal/> (дата обращения 16.11.2022)
2. Лапердин В.К., Имаев В.С. Опасные геологические процессы в зоне Байкальского рифта и сопредельных территорий // Вопросы инженерной сейсмологии. 2010. Т. 37. № 1. С. 40–55.
3. Baholdina E., Karetnikov N., Tashnik I., Florya D., Savinov Yu. Цифровая трансформация промышленности с помощью Интернет-технологий (Digital Transformation of Industries With Internet Technologies) // Russian Foreign Economic Journal. 2018. No. 9, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4020423>
4. Семинский К.Ж., Добрынина А.А., Борняков С.А., Саньков В.А., Поспеев А.В., Рассказов С.В., Перевалова Н.П., Семинский И.К., Лухнев А.В., Бобров А.А., Чебыкин Е.П., Едемский И.К., Ильясова А.М., Салко Д.В., Саньков А.В., Король С.А. Комплексный мониторинг опасных геологических процессов в Прибайкалье: организация пилотной сети и первые результаты // Геодинамика и тектонофизика. 2022. Т. 13. №5. 0677. <https://doi.org/10.5800/GT-2022-13-5-0677>
5. Bychkov I.V., Ruzhnikov G.M., Fedorov R.K., Khmelnov A.E., Popova A.K. Digital environmental monitoring technology Baikal natural territory // CEUR Workshop Proceedings: 3rd Scientific-Practical Workshop Information Technologies: Algorithms, Models, Systems (ITAMS 2020; Irkutsk, 3 September 2020). 2020. Vol. 2677.
6. Авраменко Ю.В., Ружников Г.М., Фёдоров Р.К., Хмельнов А.Е. Архитектура системы хранения и обработки пространственно-временных данных для выполнения задач цифрового мониторинга // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 7–11 декабря 2020 г.). 2020. С. 1–2.
7. Bychkov I.V., Ruzhnikov G.M., Fedorov R.K., Hmelnov A.E. Organization of digital environmental monitoring: problems, solutions // Материалы Междунар. конф. "Environmental transformation and sustainable development in the Asian region" (Irkutsk, 8–10 September 2020). 2020. P. 148.
8. Avramenko Y.V., Popova A.K., Fedorov R.K. Cloud service of Geoportal ISDCT SB RAS for machine learning // CEUR Workshop Proceedings: 4th Scientific-Practical Workshop Information Technologies: Algorithms, Models, Systems (ITAMS 2021, Irkutsk, 14 September 2021). 2021. Vol. 2984. P. 6–10.

DIGITAL TRANSFORMATION OF HAZARDOUS GEOLOGICAL PROCESSES MONITORING ON THE EXAMPLE OF THE BAIKAL NATURAL TERRITORY

I. V. Bychkov²[0000-0002-1765-0769], D. P. Gladkochub¹[0000-0001-7227-8253], G. M. Ruzhnikov²,
K. Zh. Seminsky¹[0001-7607-0417], V. V. Paramonov²[0000-0002-4662-3612],
S. V. Alekseev¹[0000-0002-3853-5022], S. A. Bornyakov¹[0000-0002-5119-1092], A. A. Dobrynina¹,
A. A. Rybchenko¹[0000-0003-2615-8423], A. M. Kononov¹[0000-0003-2379-4782],
A. V. Pospuev¹[0000-0001-5938-1942], S. V. Rasskazov¹[0000-0001-9084-1652],
V. A. Sankov¹[0000-0002-1066-2601], I. K. Seminsky¹[0000-0002-7530-0716]

¹*Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 128 Lermontova str, Irkutsk, 664033*

²*Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences 134 Lermontova str, Irkutsk, 664033*

Abstract

Baikal Natural Territory (BNT) is the territory that adjacent to Lake Baikal, which is a unique natural object and, in accordance with the UNESCO Convention, a "World Natural Heritage". Baikal is in the central part of the Baikal Rift Zone (BRZ) – the most active seismic zone located in the middle of Russia. The development of the BRZ leads to the emergence of dangerous geological processes that can lead to a violation of the balance in the Lake Baikal ecological system and the surrounding area. In addition, these processes and phenomena pose a real threat to the smooth functioning of main-line communications, hydroelectric power plants and strategically important industries in the region, which, according to the classification of the Ministry of Emergency Situations of Russia, belongs to the first category of danger. To ensure systematic monitoring and forecasting of the environmental situation of the BNT, systematic observations are organized, as well as obtaining and analysing information about the activity of hazardous geological processes in digital form. The digital transformation of monitoring of hazardous geological processes, resulting from the digitalization of processes and the development of appropriate infrastructure, provides the possibility of using new models and methods, more flexible approaches to the analysis of ongoing processes and the prediction of possible extreme events. In this paper, a digital platform is proposed that provides support for the digital transformation of the monitoring of hazardous

geological processes using the example of BNT. The platform under consideration may be used for ecological monitoring of BNT area.

Keywords: *digital platform, digital transformation, seismicity, earthquake, geophysics, dangerous geological processes, monitoring, forecast, models.*

REFERENCES

1. Regulirovanie v oblasti ohrany ozera Bajkal // Rosprirodnadzor. URL: <https://03.rpn.gov.ru/activity/bajkal/> (data obrashcheniya 16.11.2022)
2. *Laperdin V.K., Imaev V.S.* Opasnye geologicheskie processy v zone Bajkal'skogo rifta i sopredel'nyh territorij // *Voprosy inzhenernoj seismologii*. 2010. T. 37. № 1. S. 40–55.
3. *Baholdina E., Karetnikov N., Tashnik I., Florya D., Savinov Yu.* Digital Transformation of Industries with Internet Technologies // *Russian Foreign Economic Journal*. 2018. No. 9, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4020423>
4. *Seminskij K.ZH., Dobrynina A.A., Bornyakov S.A., San'kov V.A., Pospsev A.V., Rasskazov S.V., Perevalova N.P., Seminskij I.K., Luhnev A.V., Bobrov A.A., Chebykin E.P., Edemskij I.K., Il'yasova A.M., Salko D.V., San'kov A.V., Korol' S.A.* Kompleksnyj monitoring opasnyh geologicheskikh processov v Pribajkal'e: organizaciya pilotnoj seti i pervye rezul'taty // *Geodinamika i tektonofizika*. 2022. T. 13. №5. 0677. <https://doi.org/10.5800/GT-2022-13-5-0677>
5. *Bychkov I.V., Ruzhnikov G.M., Fedorov R.K., Khmel'nov A.E., Popova A.K.* Digital environmental monitoring technology Baikal natural territory // *CEUR Workshop Proceedings: 3rd Scientific-Practical Workshop Information Technologies: Algorithms, Models, Systems (ITAMS 2020; Irkutsk, 3 September 2020)*. 2020. Vol. 2677.
6. *Avramenko Yu.V., Ruzhnikov G.M., Fyodorov R.K., Hmel'nov A.E.* Arhitektura sistemy hraneniya i obrabotki prostranstvenno-vremennyh dannyh dlya vypolneniya zadach cifrovogo monitoringa // *Materialy konf. «Lyapunovskie chteniya» (Irkutsk, 7–11 dekabrya 2020 g.)*. 2020. S. 1–2.
7. *Bychkov I.V., Ruzhnikov G.M., Fedorov R.K., Hmel'nov A.E.* Organization of digital environmental monitoring: problems, solutions // *Materialy Mezhdunar. konf. "Environmental transformation and sustainable development in the Asian region" (Irkutsk, 8–10 September 2020)*. 2020. P. 148.

8. Avramenko Y.V., Popova A.K., Fedorov R.K. Cloud service of Geoportal ISDCT SB RAS for machine learning // CEUR Workshop Proceedings: 4th Scientific-Practical Workshop Information Technologies: Algorithms, Models, Systems (ITAMS 2021, Irkutsk, 14 September 2021). 2021. Vol. 2984. P. 6–10.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



БЫЧКОВ Игорь Вячеславович, академик Российской академии наук, профессор, доктор технических наук, директор Института динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН, заместитель председателя СО РАН по научной работе – директор Иркутского филиала Сибирского отделения РАН, г Иркутск.

Igor BYCHKOV, Academician of Russian Academy of Sciences, professor, Ph.D., director of the Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Deputy chairman of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences for scientific work – Director of the Irkutsk branch of the Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Irkutsk.

e-mail: bychkov@icc.ru

ORCID ID: 0000-0002-1765-0769



ГЛАДКОЧУБ Дмитрий Петрович, член-корреспондент РАН, профессор РАН, доктор геолого-минералогических наук директор Института земной коры СО РАН, г. Иркутск.

Dmitriy GLADKOCHUB, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Director of the Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk.

e-mail: dima@crust.irk.ru

ORCID: 0000-0001-7227-8253



РУЖНИКОВ Геннадий Михайлович, доктор технических наук, заведующий отделением Информационных технологий и систем Института динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН, г. Иркутск

Gennady RUZHNIKOV, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Information Technologies and Systems of Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Irkutsk



СЕМИНСКИЙ Константин Жанович, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией тектонофизики Института земной коры СО РАН, г. Иркутск.

Konstantin SEMINSKIY, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Head of the Laboratory of Tectonophysics, Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk.

e-mail: seminsky@crust.irk.ru

ORCID ID: 0000-0001-7607-0417



ПАРАМОНОВ Вячеслав Владимирович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории Комплексных информационных систем Института динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН, г. Иркутск

Viacheslav PARAMONOV, PhD., Senior Researcher of the Laboratory of Integrated Information Systems, of Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Irkutsk

e-mail: slv@icc.ru

ORCID ID: 0000-0002-4662-3612



АЛЕКСЕЕВ Сергей Владимирович, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией гидрогеологии Института земной коры СО РАН, г. Иркутск.

Sergey ALEKSEEV, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Head of the Laboratory of Hydrogeology, Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk.

e-mail: alexeevgeo@gmail.com

ORCID ID: 0000-0002-3853-5022



БОРНЯКОВ Сергей Александрович, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории тектонофизики Института земной коры СО РАН, г. Иркутск.

Sergey BORNIAKOV, PhD., Leading Researcher of the Laboratory of Tectonophysics, Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk.

e-mail: bornyak@crust.irk.ru

ORCID ID: 0000-0002-5119-1092



ДОБРЫНИНА Анна Александровна, кандидат физико-математических наук, ученый секретарь Института земной коры СО РАН, г. Иркутск.

Anna DOBRYNINA, PhD, Scientific Secretary, Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk.

e-mail: dobrynina@crust.irk.ru



РЫБЧЕНКО Артем Александрович, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, заведующий Лабораторией инженерной геологии и геоэкологии Института земной коры СО РАН, г. Иркутск.

Artem RYBCHENKO, PhD, Senior Researcher, Head of the Laboratory of Engineering Geology and Geoecology, Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk.

e-mail: rybchenk@crust.irk.ru

ORCID ID: 0000-0003-2615-8423



КОНОНОВ Александр Матвеевич, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории гидрогеологии Института земной коры СО РАН, г. Иркутск.

Aleksandr KONONOV, Ph.D., Senior researcher of the Laboratory of Hydrogeology, Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk.

e-mail: kononov@crust.irk.ru

ORCID ID: 0000-0003-2379-4782



ПОСПЕЕВ Александр Валентинович, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник

Aleksandr POSPEEV, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Oil and Gas Geology, Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk.

e-mail: avp@crust.irk.ru

ORCID ID: 0000-0001-5938-1942



РАССКАЗОВ Сергей Васильевич, доктор геолого-минералогических наук, заведующий Лабораторией изотопии и геохронологии Института земной коры СО РАН, г. Иркутск.

Sergey RASSKAZOV, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Head of the Laboratory of Isotopies and Geochronology, Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk.

e-mail: rassk@crust.irk.ru

ORCID ID: 0000-0001-9084-1652



САНЬКОВ Владимир Анатольевич, кандидат геолого-минералогических наук, заместитель директора по научной работе Института земной коры СО РАН, г. Иркутск.

Vladimir SANKOV, PhD, Deputy Director for Scientific Work, Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk.

e-mail: sankov@crust.irk.ru

ORCID ID: 0000-0002-1066-2601



СЕМИНСКИЙ Игорь Константинович, кандидат геолого-минералогических наук, начальник центра комплексного мониторинга опасных геологических процессов Института земной коры СО РАН, г. Иркутск.

Igor SEMINSKIY, PhD, Head of the Center for Comprehensive Monitoring of Hazardous Geological Processes, Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk.

e-mail: iks@crust.irk.ru

ORCID ID: 0000-0002-7530-0716

Материал поступил в редакцию 30 августа 2022 года

S