

Информационное обеспечение мониторинга природных экосистем, нарушенных в ходе освоения георесурсов, при экоинвестиционном подходе к их восстановлению

С.П. Месяц✉, А.А. Петров

Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, Российская Федерация
✉ s.mesyats@ksc.ru

Резюме: Освоение георесурсов связано с перемещением и складированием большого объема горных пород, что приводит к негативному воздействию на природную среду, в частности, к уничтожению фитоценозов – главного компонента природных ландшафтов. Актуальность проблемы сохранения устойчивого состояния биосферы перманентно возрастает при снижении ее продуктивности на фоне роста производства и потребления георесурсов, что выводит на первое место необходимость восстановления природных экосистем в свете современного знания их роли в обеспечении устойчивого развития цивилизации.

На основании изучения самоорганизующейся природы почв в Горном институте Кольского научного центра РАН обоснована методология и разработана технология восстановления природных экосистем, нарушенных при освоении георесурсов, в соответствии с принципом их самоорганизации, созданием биологически активной среды. Образование биологически активной среды в результате создания сеяного злакового фитоценоза без нанесения плодородного слоя – суть экоинвестиционного подхода, заключающегося в увеличении энергетического потенциала системообразующей функции биоты для увеличения скорости восстановления природных экосистем.

Информационное обеспечение мониторинга восстановления природных экосистем, нарушенных при освоении георесурсов, формирует систему обработки и хранения данных об этапах биологической организации горной породы: о состоянии нарушенных земель и ресурсном потенциале их самовосстановления, наземном изучении динамики накопления органического вещества, генетических параметрах и функциональных показателях образующихся почв, геоботанических описаниях формирующегося фитоценоза на лесной стадии сукцессии сеяного без нанесения плодородного слоя злакового фитоценоза, морфофизиологических характеристиках растений-доминантов окружающей природной среды в формирующемся фитоценозе.

Ключевые слова: нарушенные земли горной отрасли, восстановление природных экосистем, комплексный мониторинг, информационное обеспечение, база данных, web-технологии

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания №FMEZ-2022-0006 «Развитие методологии экоинвестиционного подхода к восстановлению природных экосистем, нарушенных при освоении георесурсов».

Для цитирования: Месяц С.П., Петров А.А. Информационное обеспечение мониторинга природных экосистем, нарушенных в ходе освоения георесурсов, при экоинвестиционном подходе к их восстановлению. *Горная промышленность*. 2023;(5S):107–112. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-5S-107-112>

Information support for monitoring of natural ecosystems disrupted during the development of geo-resources, at the eco-investment approach to their restoration

S.P. Mesyats✉, A.A. Petrov

Mining Institute of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Science; Apatity, Russian Federation
✉ s.mesyats@ksc.ru

Abstract: Exploitation of georesources involves the haulage and storage of a large volume of rocks, which has a negative impact on the natural environment, particularly leading to the destruction of phytocenoses – the main component of natural landscapes. The relevance of the problem of preserving a sustainable state of the biosphere continually increases as its productivity declines amidst the growth of georesource production and consumption, highlighting the need for the restoration of natural ecosystems in light of the modern understanding of their role in ensuring sustainable development of civilization.

Based on the study of self-organizing nature of soils at the Mining Institute of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, a methodology and technology for restoring disrupted natural ecosystems in the exploitation of georesources has been justified and developed in accordance with the principle of their self-organization, through the creation of a biologically active environment. The formation of a biologically active environment through the establishment of seeded cereal phytocenosis

without the application of a fertile layer represents an eco-investment approach, aimed at increasing the energy potential of the system-forming biota function to accelerate the restoration process of natural ecosystems.

The large areas of disturbed land in the mining industry and the multifactorial impact of industrial enterprises on the natural environment determine the relevance of an integrated assessment of the dynamics of natural ecosystem restoration based on terrestrial and satellite data.

The information support for monitoring the restoration of natural ecosystems disrupted by the exploitation of georesources includes data on the stages of biological organization of the rock: the state of disturbed land and the resource potential of their self-restoration, the terrestrial study of organic matter accumulation dynamics, genetic parameters, and functional indicators of developing soils, geobotanical descriptions of the forming phytocenosis in the forest stage of successional seeded cereal phytocenosis without the application of a fertile layer, and morphophysiological characteristics of dominant plants in the surrounding natural environment in the forming phytocenosis. Satellite data characterize the material composition of the rock, the vegetation index, and the moisture stress index of the forming phytocenosis.

Keywords: disturbed lands in the mining industry, restoration of natural ecosystems, comprehensive monitoring, information support, database, web technologies

Acknowledgments: The study was carried out within the framework of the State Contract No.FMEZ-2022-0006 «Development of a methodology for an eco-investment approach to restoration of natural ecosystems disturbed by the development of georesources».

For citation: Mesyats S.P., Petrov A.A. Information support for monitoring of natural ecosystems disrupted during the development of geo-resources, at the eco-investment approach to their restoration. *Russian Mining Industry*. 2023;(5S):107–112. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-5S-107-112>

Введение

Экологические проблемы освоения месторождений минерального сырья в значительной степени связаны с необходимостью складирования отходов добычи и переработки, занимающих большие площади и являющихся источником загрязнения природной среды. В России общая площадь земель, нарушенных при освоении ресурсов, в 2020 г. составляла более 1 млн га. Наибольшие площади нарушений природных ландшафтов отмечены в Тюменской области, Республике Саха (Якутия), Красноярском и Забайкальском краях, Амурской и Мурманской областях¹ [1; 2] (рис. 1).



Рис. 1
Складированные отходы добычи и переработки минерального сырья предприятий Мурманского горнопромышленного комплекса

Fig. 1
Stored waste from mining and processing of mineral raw materials of the Murmansk mining and metallurgical enterprises

В начале третьего тысячелетия стало очевидным, что эволюционно сложившиеся механизмы саморегуляции природной среды не справляются с количеством отходов, производимых человеческим обществом, поскольку

сокращение площади природных экосистем ведет к снижению их регуляторного потенциала. В то же время экологическая безопасность существования цивилизации обеспечивается только в условиях устойчивого состояния биосферы.

Концепция «биотической регуляции природной среды», проверенная эволюцией, заключается в том, что единственной возможностью выживания человечества является восстановление природных экосистем в масштабах, необходимых для выполнения биотой функции саморегуляции природной среды на глобальном уровне, что определяет стратегию «ecological restoration» главной стратегией развития цивилизации [3].

Восстановление природных экосистем представляет исключительный интерес для науки и практики, поскольку нарушенные земли техногенных ландшафтов являются зонами современной регенерации почвенно-растительного покрова, главного компонента биосферы. Вновь образующиеся почвы – это почвы с точно фиксируемым возрастом и стадией развития, так как нарушенные земли горнодобывающей отрасли представлены в основном складированными отходами добычи и переработки минерального сырья, т.е. горной породой в чистом виде без органики растительного происхождения.

Актуальность развития методологии экоинвестиционного подхода к восстановлению природных экосистем, нарушенных при освоении георесурсов, на фоне глобального экологического кризиса возрастает с учетом планируемого крупномасштабного освоения арктических регионов, природная среда которых характеризуется низким потенциалом самовосстановления.

Объект исследований

Тестовыми объектами исследований определены складированные отходы переработки минерального сырья Хибинской группы месторождений апатитсодержащих руд и Ковдорского месторождения бадделит-apatит-магнетитовых руд. Объекты характеризуются наибольшим проявлением факторов, лимитирующих процессы самозарастания (мелкодисперсность и бесструктурность, полное отсутствие органического вещества и элементов питания

¹ О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году. Государственный доклад. М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова. 2021. 864 с. Режим доступа: <https://2020.ecology-gosdoklad.ru/doklad/o-doklade>

растений, низкая влагоемкость, сильные проявления ветровой и водной эрозии).

Мониторинговый полигон находится на ограждающей дамбе складированных отходов рудообогатения апатит-содержащих руд Хибинской группы месторождений, северо-восточной экспозиции, общей площадью 2,6 га. На полигоне уже более 40 лет, в соответствии с разработанной системой мониторинга проводятся исследования динамики восстановления природных экосистем, нарушенных при освоении георесурсов, в рамках экоинвестиционного подхода к их восстановлению [4].

Концептуальный подход

Целью работы является информационное обеспечение мониторинга природных экосистем, нарушенных в ходе освоения георесурсов, при экоинвестиционном подходе к их восстановлению.

Современные средства мониторинга природных экосистем и обеспечивающие их информационно-управляющие системы представляют собой сложные многофункциональные, многорежимные распределенные системы [5]. В таких системах осуществляется совместная обработка сложно организованных данных и знаний. Они разрабатываются на основе современных информационных технологий, обеспечивающих существенное повышение уровня информационной и интеллектуальной поддержки. Информатизация при решении экологических задач принимает фундаментальный характер в связи с широким использованием локальных и глобальных вычислительных сетей.

В ходе решения задач комплексного мониторинга восстановления природных экосистем возникают ситуации, при которых нарушена целостность, структурированность данных. Это происходит как в результате того, что существующие средства измерений не обеспечивают получение данных в динамике исследуемых процессов, так и при отсутствии необходимых датчиков первичной информации. В таких ситуациях информационные технологии позволяют на основе компьютерной обработки данных получить корректную информацию для принятия управленческих решений по улучшению состояния природной среды.

Информационное обеспечение включает в себя решение следующих задач:

- подготовка интегрированной информации о состоянии природной среды для систем поддержки принятия решения;
- имитационное моделирование процессов, происходящих в природной среде, с учетом существующих уровней техногенной нагрузки и планируемых результатов принимаемых управленческих решений;
- накопление информации по временным трендам параметров природной среды с целью прогнозирования динамики процессов;
- подготовка электронных карт, отражающих состояние природной среды;
- обработка и накопление в базах данных результатов наземного и дистанционного мониторинга и выявление параметров природной среды наиболее чувствительных к техногенным воздействиям;
- обоснование оптимальной сети наблюдений для региональной системы экологического мониторинга;
- обмен информацией о состоянии природной среды (импорт и экспорт данных) с другими информационными системами.

В информационном обеспечении следует выделить три

уровня, ориентированных на решение различных задач мониторинга и отличающихся по методам работы с экологической информацией. Верхний уровень составляют программные модули для поддержки принятия решений, средний – программное обеспечение, позволяющее провести системный анализ информации о состоянии исследуемых объектов, а нижний – модули обработки первичной экологической информации [6]. На нижнем уровне информационной системы для хранения данных о состоянии окружающей среды используются различные системы управления базами данных (СУБД), а для обработки результатов наблюдений – различные программные продукты: электронные таблицы, пакеты прикладных программ типа MathCAD, Surfer, ГИС. Такое разнообразие программного обеспечения обусловлено наличием разноплановых задач обработки результатов наблюдений за состоянием природной среды, полученных с помощью локальных и дистанционных методов мониторинга природных экосистем [7].

Информационное обеспечение комплексного мониторинга динамики восстановления природных экосистем, нарушенных при освоении георесурсов, содержит все данные об этапах биологической организации горной породы: о состоянии нарушенных земель и ресурсного потенциала их самовосстановления, наземного изучения динамики накопления органического вещества, о генетических параметрах и функциональных показателях образующихся почв, геоботанических описаниях формирующегося фитоценоза на лесной стадии сукцессии сеяного без нанесения плодородного слоя злакового фитоценоза, морфологических характеристиках растений-доминантов окружающей природной среды в формирующемся фитоценозе. Спутниковые данные мониторинга характеризуют вещественный состав горной породы, вегетационный индекс и индекс стресса влажности формирующегося фитоценоза.

Информационное обеспечение комплексного мониторинга основано на web-технологиях, реализующих технические, коммуникационные, программные методы решения задач удаленного многопользовательского доступа к данным и результатам их обработки через сеть Интернет. Придерживаясь концепции клиент-серверной архитектуры [8], в формате WEB-приложения реализован универсальный интерфейс между данными системы мониторинга и их потребителями через сеть Интернет.

Обсуждение результатов

Выбор концепции Web-приложения для информационного обеспечения мониторинга динамики восстановления природных экосистем обусловлен следующими позициями:

- кроссплатформенность – web-приложения работают на любой операционной системе, на любом устройстве с доступом в сеть Интернет через браузер;
- удаленный доступ – пользователь может получить доступ к приложению из любого места через сеть Интернет без его установки на устройство пользователя;
- работа с большими объемами данных – web-приложения ориентированы на обработку и хранение больших объемов данных за счет вычислительной мощности серверов вне зависимости от мощности клиентских компьютеров;
- интеграция – упрощает масштабирование приложения и взаимодействие с другими программными продуктами и сервисами через программный интерфейс приложения (API);

– независимое обновление – web-приложения обновляются на сервере, что сокращает время и затраты на поддержку и обслуживание пользователей.

При разработке web-приложения выбран технологический стек MERN, включающий четыре компонента: MongoDB, Express, ReactJS и NodeJS, и представляющий собой полнофункциональное решение на основе языка программирования JavaScript². Эти компоненты обеспечивают комплексную среду для создания web-приложения в рамках информационного обеспечения мониторинга природных экосистем при экоинвестиционном подходе к их восстановлению.

MongoDB – это документоориентированная система управления базами данных (СУБД), которая относится к классу NoSQL (нереляционных) баз данных. В отличие от реляционных СУБД она не использует таблицы с жестко заданными структурами для хранения данных [9]. В ходе решения задач комплексного мониторинга природных экосистем возникают ситуации, при которых нарушена целостность, структурированность данных, MongoDB не требует строгого определения схемы данных, что позволяет более гибко управлять структурой данных и использовать динамические схемы для хранения информации. MongoDB используется для построения системы мониторинга природных экосистем, обработки больших объемов данных в реальном времени и хранения данных.

Express.js – это упрощенный, гибкий web-фреймворк, который предоставляет широкий функционал для создания web-приложений [10]. Express обеспечивает механизм роутинга для обработки пользовательских запросов через HTTP протокол, определять end-point для различных типов запросов (GET, POST, PUT, DELETE), что позволяет управлять поведением web-приложения. Express позволяет установить постоянное соединение между клиентом и сервером на основе web-сокеты, что обеспечивает более быструю и надежную связь между приложением и пользователями. Обработка пользовательских запросов к данным мониторинга природных экосистем реализована на основе функционала Express.js.

React – это JavaScript библиотека с открытым исходным кодом для создания пользовательских интерфейсов web-приложений, обладает высокой производительностью, широким инструментарием, большим сообществом разработчиков. React ориентирован на создание представлений приложений через инкапсулированные единицы (компоненты), которые сохраняют состояние и динамически генерируют элементы пользовательского интерфейса web-приложения³. Компоненты React – это независимые модули, которые могут быть многократно использованы и объединены в более крупные структуры с древовидной иерархией, где каждый компонент занимает свой собственный уровень. Библиотека React используется для построения пользовательского интерфейса модулей web-приложения.

Node.js – кроссплатформенная среда исполнения с открытым исходным кодом, позволяет создавать серверные инструменты, высокопроизводительные сетевые приложения на языке JavaScript, вне контекста браузера, под управлением операционной системы с поддержкой файловой системы. Одним из главных преимуществ Node.js

является его асинхронность, т.е. возможность обрабатывать несколько запросов одновременно, не блокируя другие задачи, что гарантирует высокую скорость обработки запросов и повышенную производительность web-приложения, также Node.js поддерживает работу с web-сокетами, что позволяет создавать web-приложения, которые обмениваются данными в режиме реального времени [11].

Web-приложение имеет модульную структуру, что позволяет внедрять новые алгоритмы получения, обработки и анализа данных мониторинга в качестве микросервисов, интегрируя их в единое информационное обеспечение. На рис. 2 представлена комплексная схема информационного обеспечения системы мониторинга природных экосистем, нарушенных в ходе освоения георесурсов, при экоинвестиционном подходе к их восстановлению, реализованного в формате клиент-серверной архитектуры web-приложения.

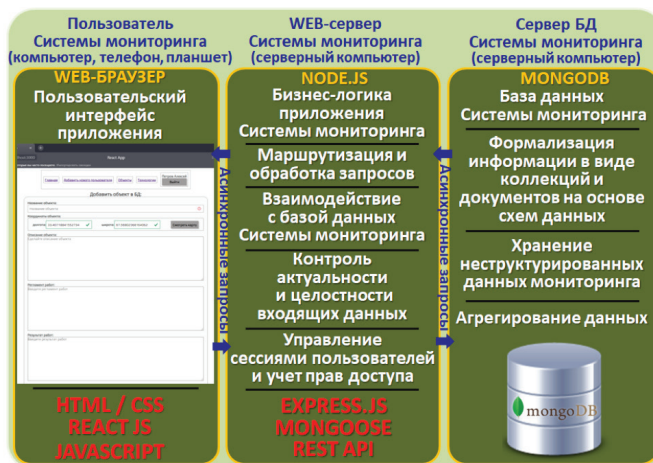


Рис. 2
Структурная схема web-приложения системы мониторинга динамики восстановления природных экосистем, нарушенных в ходе освоения георесурсов

Fig. 2
Structural schematic diagram of the web-application of the system for monitoring the dynamics of restoration of natural ecosystems disturbed during the development of geo-resources

База данных системы мониторинга природных экосистем использует документоориентированную модель данных СУБД MongoDB. Информация организована в гибкой, расширяемой структуре, которая позволяет удобно хранить различные типы данных, связанные с параметрами и функциональными показателями исследуемых экосистем.

В MongoDB данные организованы в коллекции, которая представляет собой группу документов. Коллекции не требуют предварительного определения схемы и могут содержать документы с разными структурами.

Данные системы мониторинга хранятся в документах, которые представляют собой древовидные структуры, аналогичные JSON или BSON объектам. Каждый документ содержит пары ключ-значение, где ключи представлены различными типами данных, включая числа, строки; уникальными идентификаторами полей, а значения могут быть объекты и массивы. Такая структура позволяет хранить различные типы данных в одной коллекции, без необходимости заранее определять схему. Документы в

² MERN Stack Explained. Archived from the original on 2023-04-27. Available at: <https://www.mongodb.com/mern-stack>

³ React – A JavaScript library for building user interfaces. Available at: <https://reactjs.org>



Рис. 3
Логическая структура
базы данных системы
мониторинга динамики
восстановления природных
экосистем

Fig. 3
Logical structure of the
database of the system
for monitoring the dynamics
of restoration of natural
ecosystems

коллекции имеют различные поля и значения, что делает структуру базы данных системы мониторинга удобной и эффективной для хранения информации, которая меняет свои свойства в ходе мониторинга динамики восстановления природ экосистем (рис. 3).

Обладая мощными инструментами для анализа данных, такими как агрегационные запросы и геопространственные индексы, MongoDB упрощает анализ и интерпретацию данных мониторинга динамики восстановления экосистем. Это способствует более точному и эффективному принятию решений при планировании мероприятий по восстановлению природной среды и предотвращению негативных последствий освоения георесурсов.

Немаловажным критерием систем обработки данных является наличие инструмента обеспечения безопасности информации. В Web-приложении доступ к информации

организован на основе привилегированного разделения прав доступа между пользователями. В качестве микросервиса для Web-приложения системы мониторинга реализован программный модуль, осуществляющий разделение прав доступа к данным с целью защиты информации от утраты, нарушения целостности и несанкционированного доступа.

Заключение

Большие площади нарушенных земель горной отрасли и многофакторность воздействия промышленных предприятий на природную среду определяют актуальность интегральной оценки состояния природных экосистем, нарушенных при освоении георесурсов, и динамики их восстановления с целью поддержания устойчивого состояния биосферы на основе наземных и дистанционных методов мониторинга.

Таким образом, с целью информационного обеспечения мониторинга природных экосистем, нарушенных в ходе освоения георесурсов, при экоинвестиционном подходе к их восстановлению разработано web-приложение, реализующее на основе клиент-серверной архитектуры, универсальный интерфейс доступа к данным мониторинга через сеть Интернет.

Разработка web-приложения реализована на основе технологического стека, включающего четыре компонента: MongoDB, Express, ReactJS и NodeJS. Каждый компонент имеет свое функциональное назначение: MongoDB представляет собой нереляционную базу данных, где хранится релевантная информация системы мониторинга, Express выступает в роли фреймворка для построения серверной части web-приложения, ReactJS используется для разработки компонентов пользовательского интерфейса web-приложения, NodeJS – кроссплатформенная среда для исполнения JavaScript-кода на серверной стороне. При функциональном взаимодействии эти компоненты предоставляют комплексную платформу для разработки web-приложения информационного обеспечения мониторинга природных экосистем, нарушенных в ходе освоения георесурсов.

Список литературы

1. Наумов И.В. Исследование пространственных диспропорций в процессах нарушения и рекультивации земельных ресурсов в России. *Известия Уральского государственного горного университета*. 2019;(4):142–151. Режим доступа: <https://www.iuggu.ru/download/2019/4-56-2019/naumov.pdf>
2. Иванов А.Н., Игнатьева М.Н., Юрак В.В., Пустохина Н.Г. Проблемы восстановления земель, нарушенных при разработке месторождений полезных ископаемых. *Известия Уральского государственного горного университета*. 2020;(4):218–227. <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2020-4-218-227>
3. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Сохранение почв как незаменимого компонента биосферы: функционально-экологический подход. М.: Наука; 2000. 184 с.
4. Mel'nikov N.N., Mesyats S.P., Volkova E.Yu. Methodological approach to restoration of ecosystem functions in the industrial lands. *Journal of Mining Science*. 2016;52(2):410–416. <https://doi.org/10.1134/S1062739116020586>
5. Соколов В.Е. (ред.). *Экоинформатика: Теория. Практика. Методы и системы*. СПб.: Гидрометеоиздат; 1992. 520 с.
6. Моисеев Н.Н. *Экология и образование*. М.: Юнисам; 1996. 190 с.
7. Белобородов А.В. Компьютерные технологии в экологическом мониторинге. Экологическое приборостроение и мониторинг. *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2004;(4):224–226.

8. Богданенко Д.А. Подходы к архитектурному проектированию веб-приложений. *Молодой ученый*. 2018;(9):24–29. Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/195/48609/>
9. Бэнкер К. *MongoDB в действии* [пер. с англ. А.А. Слинкина]. М.: ДМК Пресс; 2012. 394 с.
10. Браун И. *Веб-разработка с применением Node и Express. Полноценное использование стека JavaScript*. СПб.: Питер; 2017. 336 с. Режим доступа: <https://art-rum.ru/media/docs/a3485f9cc92f3c8234b640241488173c.pdf>
11. Дейли Б., Дейли Б., Дейли К. *Разработка веб-приложений с помощью Node.js, MongoDB и Angular: исчерпывающее руководство по использованию стека MEAN*. 2-е изд. СПб.: Диалектика-Вильямс; 2020. 656 с.

References

1. Naumov I.V. The study of spatial imbalances in the processes of disruption and land reclamation in Russia. *News of the Ural State Mining University*. 2019;(4):143–152. (In Russ.) Available at: <https://www.iuggu.ru/download/2019/4-56-2019/naumov.pdf>
2. Ivanov A.N., Ignat'eva M.N., Yurak V.V., Pustokhina N.G. Problems of restoration of lands disturbed during the development of mineral deposits. *News of the Ural State Mining University*. 2020;(4):218–227. (In Russ.) <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2020-4-218-227>
3. Dobrovolsky G.V., Nikitin E.D. *Preservation of soils as an indispensable component of the biosphere*. Moscow: Nauka; 2000. 184 p. (In Russ.)
4. Mel'nikov N.N., Mesyats S.P., Volkova E.Yu. Methodological approach to restoration of ecosystem functions in the industrial lands. *Journal of Mining Science*. 2016;52(2):410–416. <https://doi.org/10.1134/S1062739116020586>
5. Sokolov V.E. (ed.). *Ecoinformatics: Theory. Practice. Methods and systems*. St Petersburg: Gidrometeoizdat; 1992. 520 p. (In Russ.)
6. Moiseev N.N. *Ecology and education*. Moscow: Yunisam; 1996. 190 p. (In Russ.)
7. Beloborodov A.V. Computer technology in environmental monitoring. Environmental instrumentation and monitoring. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*. 2004;(4):224–226. (In Russ.)
8. Bogdanenko D.A. Approaches to architectural design of web applications. *Molodoi uchenyi*. 2018;(9):24–29. Available at: <https://moluch.ru/archive/195/48609/>
9. Banker K. *MongoDB in Action* [Slinkin A.A., translator]. Moscow: DMK Press; 2012. 394 p. (In Russ.)
10. Brown E. *Web development with node and express*. O'Reilly; 2014. 306 p. Available at: https://www.vanmееgern.de/fileadmin/user_upload/PDF/Web_Development_with_Node_Express.pdf
11. Dayley B., Dayley B., Dayley C. *Node.js, MongoDB and Angular Web Development: The definitive guide to using the MEAN stack to build web applications*. 2nd ed. Addison-Wesley; 2018. 609 p.

Информация об авторах

Месяц Светлана Петровна – ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией, Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук; г. Апатиты, Российская Федерация; e-mail: s.mesyats@ksc.ru

Петров Алексей Александрович – научный сотрудник, Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук; г. Апатиты, Российская Федерация; e-mail: a.petrov@ksc.ru

Information about the authors

Svetlana P. Mesyats – Leading Researcher, Head of Laboratory, Mining Institute of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Science; Apatity, Russian Federation; e-mail: s.mesyats@ksc.ru

Aleksey A. Petrov – Researcher, Mining Institute of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Science; Apatity, Russian Federation; e-mail: a.petrov@ksc.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 05.10.2023
Поступила после рецензирования: 07.11.2023
Принята к публикации: 10.11.2023

Article info

Received: 05.10.2023
Revised: 07.11.2023
Accepted: 10.11.2023