

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПОДЗЕМНОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ КУЗБАССА

С. В. Риб, В. Н. Фрянов, А. М. Никитина, Д. М. Борzych

Сибирский государственный индустриальный университет (654007, Россия, Кемеровская обл. – Кузбасс, Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

Аннотация. В статье обоснованы перспективные направления развития подземной геотехнологии в условиях Кузбасса. Базой для новых направлений являются цифровизация объектов и процессов угольной шахты, разработка и реализация технологических решений с использованием многовариантных методов моделирования и оптимизации параметров технологии и технических средств, адаптированных к условиям угольных шахт Кузбасса и обеспечивающих промышленную безопасность на период до 2035 года.

Ключевые слова: геотехнология, шахта, способы развития шахтного фонда, цифровизация, моделирование, оптимизация проектных решений, угольные месторождения, промышленная безопасность

Для цитирования: Риб С.В., Фрянов В.Н., Никитина А.М., Борzych Д.М. Состояние и перспективы развития подземной геотехнологии на угольных шахтах Кузбасса // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2022. № 2 (40). С. 57 – 63.

STATE AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF UNDERGROUND GEOTECHNOLOGY IN KUZBASS COAL MINES

S. V. Rib, V. N. Fryanov, A. M. Nikitina, D. M. Borzykh

Siberian State Industrial University (42 Kirova str., Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass, 654007, Russian Federation)

Abstract. The article substantiates promising directions of development of underground geotechnology in the conditions of Kuzbass. The basis for new directions is digitalization of objects and processes of the coal mine, development and implementation of technological solutions using multivariate methods of modeling and optimization of technology parameters and technical means, adapted to the conditions of the coal mines of Kuzbass and providing industrial safety in the period up to 2035.

Keywords: geotechnology, mine, mine development methods, digitalization, modeling, optimization of design solutions, coal deposits, industrial safety

For citation: Rib S.V., Fryanov V.N., Nikitina A.M., Borzykh D.M. State and prospects for the development of underground geotechnology in Kuzbass coal mines. *Bulletin of the SibSIU*. 2022, no. 2 (40), pp. 57 – 63. (In Russ.).

Введение

По отчетным данным угледобывающих компаний добыча угля в России в 2021 г. составила 438,4 млн т. По сравнению с 2020 г. она увеличилась на 36,4 млн т (или на 9,1 %). Подземным способом добыто 113,0 млн т угля (на 9,8 млн т или на 9,4 % больше, чем годом ранее).

Из угледобывающих регионов самым крупным поставщиком угля является Кузнецкий бас-

сейн, где добывается более половины (55,0 %) всего угля в стране и 71,6 % углей коксующихся марок. Такая добыча определяет значимость кузнецких углей для экономики России [1].

В Кузнецком бассейне в 2021 г. по сравнению с 2020 г. добыча угля увеличилась на 20,5 млн т или на 9,3 % (добыто 241,2 млн т). На 01.01.2022 г. в Кузбассе работает 152 угледобывающих и перерабатывающих предприятия:

– 39 шахт, из них: 21 предприятие, добывающее коксующийся уголь; 18 предприятий, добывающих энергетический уголь;

– 57 разрезов, из них: 8 предприятий, добывающих коксующийся уголь; 39 предприятий, добывающих энергетический уголь; 10 предприятий, добывающих коксующийся и энергетический уголь;

– 56 обогатительных фабрик и установок.

Согласно стратегии социально-экономического развития Кузбасса до 2035 года [2] по одному из сценариев к этому времени в регионе целевой показатель добычи составит 370 млн т угля (рис. 1).

Перспективы развития угольной отрасли во многом определяются внедрением инновационных и эффективных технологий в процессы добычи, переработки и транспортировки, возможностями комплексного использования угля. На рис. 2 представлены фазы эволюционного развития угольной отрасли России [3].

При определении направлений совершенствования технологий разработки пологих угольных пластов в Кузбассе мощностью 1,5 – 6,0 м [4] принципиальное значение имеет то, что в ближайшей перспективе технико-экономические показатели подземной угледобычи на шахтах Кузнецкого бассейна будут существенно зависеть от эффективности решения проблем, связанных с выемкой ранее надработанных или подработанных сближенных пластов, при использовании системы разработки длинными столбами с оставлением целиков угля в выработанном пространстве.

За последние десятилетия функционирования угольные шахты на базе достижений науки и систем управления довели до совершенства технологии добычи угля в рамках доступных им

техники и технологий. При этом был сформирован технический и технологический задел на базе накопленного информационного материала.

Возможные сценарии технологического развития отличаются темпами поэтапного перехода отрасли в новое технологическое качество, обеспечиваемое использованием передовых цифровых и интеллектуальных технологий, роботизированных систем, искусственного интеллекта, глубокой переработки углеводородного сырья. При этом главенствующую роль играет снижение травматизма и аварийности в шахтах.

Актуальность дигитализации угольной промышленности Кузбасса и обоснования инновационных решений следует из результатов анализа достижений отечественной и мировой горной науки и опыта работы высокопроизводительных угольных шахт в России и за рубежом. В соответствии с Программой «Цифровая экономика Российской Федерации» и концепцией «Индустрия 4.0 – Четвертая промышленная революция» технология подземной угледобычи в России и за рубежом активно перестраивается на новые условия функционирования горнодобывающих предприятий.

В условиях действующих угольных шахт возникают неоднозначные горнотехнические ситуации, устранение которых возможно посредством решения локальных задач управления геомеханическими и геотехнологическими процессами. На угольных шахтах реализуется первый этап цифровизации предприятий: создаются базы данных горно-геологических информационных систем (ГГИС), которые включают цифровые модели земной поверхности, геологического массива, топологии горных выработок и

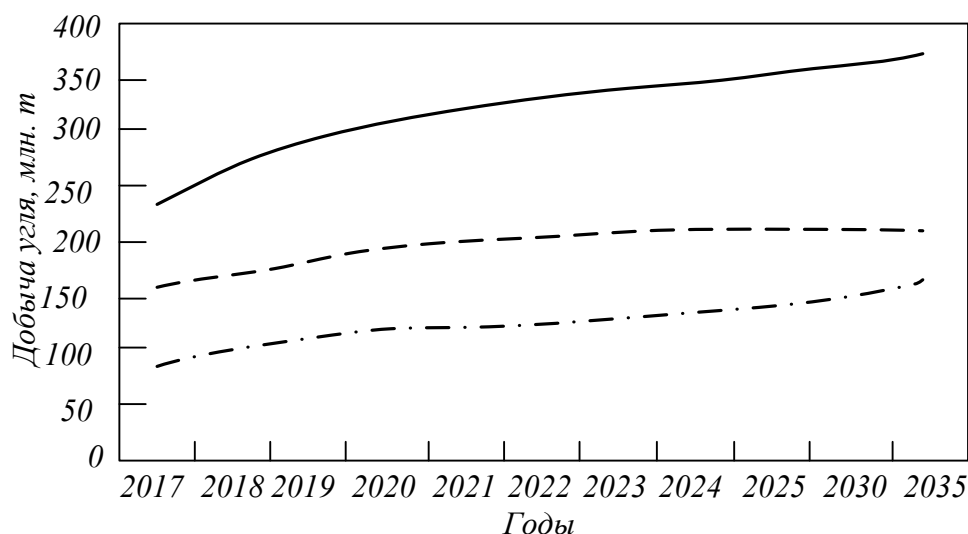


Рис. 1. Динамика добычи угля в Кузбассе всего (—), подземным (---) и открытым (- · - · -) способом

Fig. 1. Dynamics of coal mining in Kuzbass in total (—), underground (---) and open (- · - · -) way



Рис. 2. Фазы развития угольной промышленности России
Fig. 2. Phases of development of the Russian coal industry

другие информационные ресурсы угольной шахты [5 – 7]. В настоящее время ГГИС горнодобывающих предприятий являются ресурсными моделями и обеспечивают сокращение потерь времени на подготовку и передачу информации, прямой доступ специалистов к визуальной информации, оперативное принятие решений для снижения риска возникновения аварий и инцидентов [8, 9].

Основные идеи формирования информационной базы горнодобывающих предприятий активно реализуются в учебном процессе вузов горного направления [10], в том числе в СибГИУ на кафедре геотехнологии при подготовке выпускной квалификационной работы и изучении следующих учебных дисциплин: компьютерная горная графика, компьютерное моделирование пластовых месторождений, моделирование динамических процессов, научно-исследовательская работа и др. [11, 12]. Поэтому можно ожидать появления на предприятиях подготовленных специалистов горного направления как творческий потенциал для реализации основных идей цифровизации угольных шахт.

В соответствии с необходимостью развития подземной геотехнологии Кузбасса предлагается начинать реализацию второго этапа цифровизации: использовать ГГИС как основу для решения локальных прикладных задач управления

горным производством, профилактики рисков возникновения опасных производственных ситуаций при интенсификации горных процессов и обеспечения эффективности горного производства. Такими уникальными задачами, решение которых не обеспечивается частично устаревшими действующими нормативными и методическими документами с достаточной для горных предприятий надежностью, являются:

- многовариантная оптимизация параметров технологической схемы шахты с использованием ГГИС как ресурса для имитационного и когнитивного моделирования;
- прогноз напряженно-деформированного состояния (НДС) массива горных пород в окрестности сопряжений и пересечений горных выработок, при движении очистных и подготовительных забоев с переменной скоростью, в случае отработки весьма сближенных пластов с переменной мощностью междупластья и др.;
- разработка технологических требований для создания робототехнических средств проведения горных выработок без постоянного присутствия персонала в опасных зонах;
- прогноз рисков возникновения опасных производственных ситуаций в зонах влияния геологических нарушений, локальных коллекторов десорбированного метана, влияния природных и техногенных микроземлетрясений, взаим-

ного влияния открытых и подземных процессов и выработок и пр.

Ниже рассмотрены предлагаемые авторами настоящей работы основные виды и направления решения задач по элементам технологической схемы угольной шахты с использованием ГГИС как информационного ресурса.

Проектирование и техническое перевооружение шахт

Применение методов имитационного, нейронного или когнитивного моделирования для выбора оптимального варианта развития шахтного фонда. Так как критерием эффективности принятых решений является прибыль при ограничениях по условиям безопасности, то в настоящее время преобладает выборочная отработка участков угольных пластов в свите. Это приводит к временной консервации балансовых запасов полезного ископаемого, возникновению зон повышенного горного давления (ЗПГД), очагов эндогенных пожаров. В итоге сокращается период эффективной работы предприятия, осуществляется его консервация с негативными экологическими последствиями. В качестве примера можно привести ликвидированные шахты старопромышленных районов Кузбасса: Анжеро-Судженск, Ленинск Кузнецкий, Киселёвск, Прокопьевск и др. В качестве направления по комплексному извлечению недр предлагается развивать в этих районах технологии добычи метана, подземной газификации.

Вскрытие, подготовка и отработка угольных пластов

По мере развития горного машиностроения изменились требования к параметрам блоков и панелей в пределах лицензионных участков. На высокопроизводительных угольных шахтах (например, шахта им. В.Д. Ялевского в Кузбассе) при отработке пологих пластов размеры выемочных столбов в панелях достигают 4 км, а длина лавы 400 м. Соответственно повысились требования к многоштрековой технологии проведения и поддержания подготовительных и вскрывающих выработок, так как темпы проходки этих выработок меньше скорости подвигания очистного комплексно-механизированного забоя.

Однако возможности повышения скорости проходки выработок ограничены следующими негативными факторами: высокая газоносность пластов, повышенное горное давление при увеличении глубины залегания пластов, риск обрушения пород и внезапных выбросов угля, породы и газа в зонах геологических нарушений.

В качестве одного из направлений повышения темпов проведения выработок предлагается

разработка и изготовление технических роботизированных средств [13], обеспечивающих выполнение основных процессов в проходческом забое без постоянного присутствия человека.

Система разработки

Монопольное применение системы разработки пологих угольных пластов длинными комплексно-механизированными забоями с полным обрушением пород кровли [14] при работе по схеме шахта – пласт привело при интенсификации темпов подвигания забоя к периодическому разрыву фронта очистных работ за счет отставания подготовки готовых к выемке запасов угольных пластов. Наличие на шахте только одного очистного забоя при возникновении неблагоприятных горно-геологических условий приводит к аварийной ситуации и резкому снижению прибыли предприятия.

На шахте с использованием ресурсов ГГИС предлагается организовать работу альтернативного очистного забоя, например с применением систем разработки с короткими забоями, участка открытых горных работ. Возможны и другие варианты. Это повысит экономическую устойчивость предприятия и полноту извлечения недр.

Промышленная безопасность

Угледобычающие массивы на современном угледобычающем предприятии характеризуются пространственной изменчивостью свойств и анизотропией пород и угольных пластов. При высоких скоростях подвигания очистных и подготовительных забоев все механические и динамические процессы, происходящие в массиве горных пород, связаны с негативными проявлениями горного давления. Это приводит к изменению режимов технологических процессов, авариям и инцидентам. Поэтому одной из функций ресурсов ГГИС является прогнозирование предвестников этих опасных производственных ситуаций. В настоящее время на шахтах функционируют следующие многофункциональные системы безопасности: «Микон III» (Россия), «Гранч» (Россия), «Davis Darby» (Великобритания) и др.

Для решения локальных задач и снижения рисков возникновения аварий и инцидентов требуется создание методов и инструментов, которые обеспечат оперативный прогноз последствий сочетаний факторов-предвестников. На современном этапе развития информационных технологий в качестве инструментов прогноза опасных явлений с целью оперативного принятия профилактических решений широко применяются специализированные программные ком-

плексы, позволяющие моделировать НДС геомассива: Ansys, Comsol, Abaqus и др.

На кафедре геотехнологии СибГИУ разработаны авторские варианты пакетов компьютерных программ [15, 16], которые обеспечивают прогноз ЗПГД, параметров крепи горных выработок, очередности отработки свиты пластов, геомеханических параметров при отработке пластов сложного строения, в том числе при переходе очистным забоем геологических нарушений.

Выводы

Кузбасс по праву считается лидером в части развития угольных производств, где реализуются федеральные задачи по автоматизации и роботизации горных работ, внедрению технологий их геоинформационного обеспечения. Современный этап развития горных предприятий – цифровая трансформация, характеризующаяся бурным развитием технологий и средств телекоммуникаций, высокоточной навигации, вычислительных технологий и робототехники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петренко И.Е. Итоги работы угольной промышленности России за 2021 год // Уголь. 2022. № 3. С. 9–23.
2. Стратегия социально-экономического развития Кемеровской области до 2035 года. Администрация Кемеровской области: официальный сайт. 2022. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://кузбасс-2035.рф/> (Дата обращения: 13.05.2022).
3. Малышев Ю., Ковальчук А., Рожков А. Угольная отрасль: поиск ориентиров в эпоху перемен // Энергетическая политика. 2021. № 2 (156). С. 18–29.
4. Зубов В.П. Состояние и направления совершенствования систем разработки угольных пластов на перспективных угольных шахтах Кузбасса // Записки Горного института. 2017. № 225. С. 292–297.
5. Ройтер М., Крах М., Кисселинг У., Векслер Ю. Мониторинг геомеханического состояния очистного забоя угольной шахты в системе управления Марко «Цифровая шахта» // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2016. Т. 1. № 3. С. 156–162.
6. Подготовка и разработка высокогазоносных угольных пластов / А.Д. Рубан, В.Б. Артемьев, В.С. Забурдяев и др. М.: Горная книга, 2010. 500 с.
7. ГИС-технологии при недропользовании / Д.С. Михалевич, А.О. Исаченко, Г.П. Жуков, Л.Р. Ишбулатова. М.: Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2016. 280 с.
8. Курцев Б.В., Федотов Г.С. Геомеханическое сопровождение горных работ с использованием ГГИС Micromine // Горный журнал. 2022. № 1. С. 90–91. <https://doi.org/10.17580/gzh.2022.01.08>
9. Сапронова Н.П. Состояние и перспективы геолого-маркшейдерского обеспечения технических проектов разработки месторождений в среде ГГИС Micromine // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. № 5. С. 345–351.
10. Методическое руководство по цифровому трехмерному моделированию георесурсного потенциала пластовых месторождений полезных ископаемых. Конспект лекций и практические работы / Д.А. Стадник, Б.В. Курцев, Ю.Н. Кузнецов, Н.М. Стадник. М.: Изд-во «Горная книга», 2021. 224 с.
11. Домрачев А.Н., Риб С.В. Разработка междисциплинарных компьютерных лабораторных работ как основа массового внедрения обучающе-тестирующих систем по направлению подготовки 21.05.04 «Горное дело» // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2018. № 3 (25). С. 18–21.
12. Домрачев А.Н., Риб С.В. Использование нейросетевого моделирования для повышения эффективности функционирования обучающе-тестирующего комплекса // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2020. № 4 (34). С. 44–46.
13. Клишин В.И., Фрянов В.Н., Павлова Л.Д., Никитенко С.М., Малахов Ю.В. Исследование взаимодействия многофункциональной шагающей крепи с массивом горных пород при проведении подземных выработок // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2021. № 3. С. 3–11. <https://doi.org/10.15372/FTPRPI20210301>
14. Коровкин Ю.А., Савченко П.Ф. Теория и практика длиннолавных систем. М.: Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2012. 808 с.
15. Комплекс проблемно-ориентированных программ для моделирования формирования и распределения опасных зон в газоносном геомассиве: свидетельство о регистрации электронного ресурса. № 21123, дата регистрации 03 августа 2015 года. / В.Н. Фрянов, О.А. Петрова, Т.В. Петрова // Хроники объединного фонда электронных ресурсов «Наука и образование» № 08-09 (75-76) август-сентябрь 2015. Режим досту-

па: <http://ofernio.ru/portal/newspaper05.php> (Дата обращения: 13.05.2022).

16. Риб С.В., Борзых Д.М., Фрянов В.Н. Свидетельство о регистрации электронного ресурса. «Комплекс программ для прогноза геомеханических и технологических параметров подземных горных выработок и неоднородных угольных целиков с тестированием численной модели по результатам точечного мониторинга». Гос. акад. наук, ИНИПИ РАО, 2014. № 20629; дата регистрации 09.12.2014.

REFERENCES

1. Petrenko I.E. Results of the Russian coal industry in 2021. *Ugol'*. 2022, no. 3, pp. 9–23. (In Russ.).
2. The strategy of socio-economic development of the Kemerovo region until 2035. *Administration of the Kemerovo region: official website*. 2022. [Elektronnyi resurs]. URL: <https://kuzbass-2035.rf/> (Data obrashcheniya: 13.05.2022). (In Russ.).
3. Malyshev Yu., Koval'chuk A., Rozhkov A. Coal industry: finding landmarks in an era of change. *Energeticheskaya politika*. 2021, no. 2 (156), pp. 18–29. (In Russ.).
4. Zubov V.P. The state and directions of improvement of coal seam development systems at prospective Kuzbass an coal mines. *Zapiski Gornogo instituta*. 2017, no. 225, pp. 292–297. (In Russ.).
5. Roiter M., Krakh M., Kisseling U., Veksler Yu. Monitoring of the geomechanical condition of the coal mine treatment face in the control system of Marko "Digital Mine". *Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornykh nauk*. 2016, vol. 1, no. 3, pp. 156–162. (In Russ.).
6. Ruban A.D., Artem'ev V.B., Ziburdaev V.S. etc. *Preparation and development of high-gas coal seams*. Moscow: Gornaya kniga, 2010, 500 p. (In Russ.).
7. Mikhalevich D.S., Isachenko A.O., Zhukov G.P., Ishbulatova L.R. *GIS technologies for subsurface use*. Moscow: Izd-vo «Gornoe delo» OOO «Kimmeriiskii tsentr», 2016, 280 p. (In Russ.).
8. Kurtsev B.V., Fedotov G.S. Geomechanical support of mining operations using GGIS Micromine. *Gornyi zhurnal*. 2022, no. 1, pp. 90–91. (In Russ.). <https://doi.org/10.17580/gzh.2022.01.08>
9. Saprionova N.P. The state and prospects of geological and surveying support for technical projects of field development in the environment of GGITS Micromine. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)*. 2017, no. 5, pp. 345–351. (In Russ.).
10. Stadnik D.A., Kurtsev B.V., Kuznetsov Yu.N., Stadnik N.M. *Methodological guide to digital three-dimensional modeling of the resource potential of reservoir mineral deposits. Lecture notes and practical work*. Moscow: Izd-vo «Gornaya kniga», 2021, 224 p. (In Russ.).
11. Domrachev A.N., Rib S.V. Development of interdisciplinary computer laboratory work as the basis for the mass introduction of training and testing systems in the field of training 21.05.04 "Mining". *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta*. 2018, no. 3 (25), pp. 18–21. (In Russ.).
12. Domrachev A.N., Rib S.V. The use of neural network modeling to improve the efficiency of the functioning of the training and testing complex. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta*. 2020, no. 4 (34), pp. 44–46. (In Russ.).
13. Klishev V.I., Fryanov V.N., Pavlova L.D., Nikitenko S.M., Malakhov Yu.V. Investigation of the interaction of a multifunctional walking support with an array of rocks during underground workings. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*. 2021, no. 3, pp. 3–11. (In Russ.). <https://doi.org/10.15372/FTPRI20210301>
14. Korovkin Yu.A., Savchenko P.F. *Theory and practice of long-head systems*. Moscow: Izd-vo «Gornoe delo» OOO «Kimmeriiskii tsentr», 2012, 808 p. (In Russ.).
15. Fryanov V.N., Petrova O.A., Petrova T.V. A complex of problem-oriented programs for modeling the formation and distribution of hazardous zones in a gas-bearing geomass: certificate of registration of an electronic resource. No. 21123, registration date 03 August 2015. *Khroniki ob"edinnogo fonda elektronnykh resursov «Nauka i obrazovanie»* no. 08-09 (75-76) avgust-sentyabr' 2015. Rezhim dostupa: <http://ofernio.ru/portal/newspaper05.php> (Data obrashcheniya: 13.05.2022). (In Russ.).
16. Rib S.V., Borzykh D.M., Fryanov V.N. Certificate of registration of an electronic resource. "A set of programs for forecasting geomechanical and technological parameters of underground mine workings and heterogeneous coal targets with testing of a numerical model based on the results of point monitoring". Gos. akad. nauk, INIPI RAO, 2014, no. 20629; data registratsii 09.12.2014. (In Russ.).

Сведения об авторах

Сергей Валерьевич Риб, к.т.н., старший преподаватель кафедры геотехнологии, Сибирский государственный индустриальный университет
E-mail: seregarib@yandex.ru

Виктор Николаевич Фрянов, д.т.н., заведующий кафедрой геотехнологии, Сибирский государственный индустриальный университет
E-mail: ftyanov@sibsiu.ru

Анастасия Михайловна Никитина, к.т.н., доцент кафедры геотехнологии, Сибирский государственный индустриальный университет
E-mail: nik.am_78@mail.ru

Дмитрий Михайлович Борzych, старший преподаватель кафедры геотехнологии, Сибирский государственный индустриальный университет
E-mail: 25borz@rambler.ru

Information about the authors

Sergei V. Rib, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of Chair of Geotechnology, Siberian State Industrial University
E-mail: seregarib@yandex.ru

Viktor N. Fryanov, Dr. Sci. (Eng.), Head of Chair of Geotechnology, Siberian State Industrial University
E-mail: ftyanov@sibsiu.ru

Anastasiya M. Nikitina, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of Chair of Geotechnology, Siberian State Industrial University
E-mail: nik.am_78@mail.ru

Dmitrii M. Borzykh, [Senior Lecturer](#) of Chair of Geotechnology, Siberian State Industrial University
E-mail: 25borz@rambler.ru

© 2022 г. С.В. Риб, В.Н. Фрянов,
А.М. Никитина, Д.М. Борzych
Поступила в редакцию 13 мая 2022 г.