

## Выбор стратегии развития горного предприятия с учетом экологических ограничений (на примере месторождения известняка)

А.В. Соколовский<sup>1</sup>, М.А. Терешина<sup>1</sup>✉, В.А. Пикалов<sup>1</sup>, В.Ю. Заляднов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ООО «НТЦ-Геотехнология», г. Екатеринбург, Российская Федерация

<sup>2</sup> Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Российская Федерация  
✉ tereshina@ustup.ru

**Резюме:** Современные рыночные условия характеризуются изменчивыми ценами и спросом на сырье. Поэтому освоение многих крупных месторождений полезных ископаемых на территории Российской Федерации связано с необходимостью разработки стратегии развития предприятия, которая включает решение комплекса проектных задач по обеспечению эффективности производства в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях с учетом природных и экологических ограничений, а также устойчивости и жизнеспособности предприятия в течение длительного периода. В статье представлен один из подходов, применяемых при выборе стратегии развития горного предприятия с учетом экологических ограничений. На примере месторождения известняка, название которого в статье изменено в связи с условиями конфиденциальности, описаны варианты технологических решений, связанных с осушением его запасов. Реализация данных решений направлена на развитие и увеличение срока жизни горного предприятия, митигацию экологических рисков и реализацию природоохранных мероприятий. Произведена систематизация способов защиты карьера от подземных вод по осложняющим факторам. Дана укрупненная технико-экономическая оценка представленным вариантам стратегических решений.

**Ключевые слова:** стратегия развития, горное предприятие, экологические факторы, горно-геологические условия, гидрогеологические условия, осушение, запасы

**Для цитирования:** Соколовский А.В., Терешина М.А., Пикалов В.А., Заляднов В.Ю. Выбор стратегии развития горного предприятия с учетом экологических ограничений (на примере месторождения известняка). *Горная промышленность*. 2022;(4):75–81. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-4-75-81>

## Selecting a development strategy for a mining company with account of environmental constraints (as exemplified by a limestone deposit)

A.V. Sokolovsky<sup>1</sup>, M.A. Tereshina<sup>1</sup>✉, V.A. Pikalov<sup>1</sup>, V.Y. Zalyadnov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> LLC STC-Geotechnology, Ekaterinburg, Russian Federation

<sup>2</sup> Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation  
✉ tereshina@ustup.ru

**Abstract:** Modern market conditions are characterized with volatility of the prices and demand for raw materials. Therefore the development of many major mineral deposits in the Russian Federation requires elaboration of the company's development strategy which involves solving complex design tasks to ensure production efficiency in complex geological and mining conditions with proper account of natural and environmental constraints as well as the company's sustainability and viability goals over a long period of time. The article presents one of the approaches that can be used when selecting the development strategy of a mining company with account of environmental constraints. Using a limestone deposit, which name has been changed due to the confidentiality conditions, as an example, the article describes options for technological solutions related to dewatering of its reserves. Implementation of these solutions is aimed at developing and extending the lifetime of the mining operation, mitigating environmental risks and implementing environmental protection measures. Systematization of methods to protect the open pit from ground waters is made based on the complicating factors. An aggregated technical and economic assessment of the presented options of strategic decisions is given.

**Keywords:** development strategy, mining enterprise, ecological factors, subsurface conditions, hydrogeological conditions, draining, reserves

**For citation:** Sokolovsky A.V., Tereshina M.A., Pikalov V.A., Zalyadnov V.Y. Selecting a development strategy for a mining company with account of environmental constraints (as exemplified by a limestone deposit). *Russian Mining Industry*. 2022;(4):75–81. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-4-75-81>

**Введение**

В современных рыночных условиях горнодобывающие предприятия подвержены колебанию цен и спроса на производимое сырье. Наличие устойчивых технологических связей, обеспеченность собственной сырьевой базой и долгосрочным рынком сбыта в этом случае являются важными стратегическими преимуществами. Для сохранения устойчивости функционирования многие предприятия изыскивают возможности развития сырьевой базы за счет открытия новых месторождений либо пересмотра кондиций и увеличения глубины отработки запасов. При втором варианте, как правило, осложняются горно-геологические и гидрогеологические условия, возрастает труднодоступность участков недр, горные работы приближаются к различного рода охраняемым зонам. Инвестиционные проекты по освоению глубоких горизонтов месторождений во многом сдерживаются рисками принятия нерациональных проектных решений, а также недостаточной проработкой вариантов стратегических направлений развития горных работ и их экономической оценки [1–5].

На стадии проектирования карьеров со сложными условиями разработки важна проработка максимального количества вариантов технологических решений по ряду важных вопросов, существенно влияющих на эффективность разработки: увеличение результирующих углов бортов карьера; осушение карьерного поля; исключение влияния горных работ на охраняемые объекты. Принятые решения должны обеспечивать оптимальные затраты на освоение месторождения, учитывая перспективы развития самого горного предприятия, его интеграцию в перерабатывающую промышленность, социальные и экологические условия, а также требования законодательства, прежде всего природоохранного [6–11].

Выбор стратегии развития, параметров разработки и технологии осушения карьера со сложными геологическими и гидрогеологическими характеристиками рассмотрен на примере месторождения известняков «Западное»<sup>1</sup>.

**Особенности разработки месторождения**

Месторождение известняков «Западное» находится вблизи крупного промышленного города. С обеих сторон месторождения расположены водотоки, представленные двумя полноводными реками (р. «Большая» и р. «Малая») рыбохозяйственного назначения, имеющими существенное социально-экологическое значение.

Месторождение эксплуатируется в течение семидесяти лет, разрабатывается открытым способом. Проектная мощность карьера составляет 5 млн т известняка в год. Добытый известняк поставляется на нужды цементной промышленности и является основным (системообразующим) источником сырья. Поэтому обеспечение долгосрочности и устойчивости добычи известняков является основой для жизнеспособности крупного промышленного узла и города в целом.

Месторождение известняков «Западное» до разработки было нагорного типа, в виде горы, вытянутой в северо-западном направлении с поперечником в основании 1,0–1,2 км.

Абсолютная отметка глубины отработки по гидрогеологическим условиям принята по урезу реки «Малая», которая формирует основной водоносный горизонт.

На текущий момент большая часть запасов до конечной глубины карьера отработана. В связи с тем что освоение

новых близлежащих месторождений невозможно, встает вопрос освоения запасов месторождения ниже уровня водоносного горизонта.

Известняки ниже горизонта уреза воды реки «Малая» сильно обводнены и имеют прямую связь с другими водоносными горизонтами, развитыми в районе месторождения. Это обуславливает определяющее влияние подземных вод на карьерные водопритоки при дальнейшей углубке [12].

Результаты расчетов и опытно-фильтрационных работ показывают, что при понижении горных работ на 60 м ниже уреза воды в реке «Малая» водоприток увеличится с 40 тыс. м<sup>3</sup>/сут до 140 тыс. м<sup>3</sup>/сут. По мере углубки карьера при вскрытии каждого следующего горизонта (высота уступа 15 м) водоприток возрастет на 30–35 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

Подобные водопритоки являются нехарактерными по своему объему для открытых горных работ и требуют принятия масштабных инновационных решений по их снижению. Стандартные решения по откачке вод являются технологически неэффективными.

Кроме поиска технических и технологических решений по снижению водопритоков в карьер, необходимо учитывать химический состав карьерных и дренажных вод, для приведения которого по содержанию вредных веществ до уровня, предъявляемого к водам рыбохозяйственного значения, потребуются мероприятия по многоступенчатой очистке для последующего сброса в гидрографическую сеть [13] либо мероприятия по утилизации карьерных и дренажных вод [14–17].

Таким образом, необходима разработка стратегии развития горных работ, включающая:

- выбор варианта мероприятий по снижению влияния близости рек к горным работам;
- выбор варианта решения по сокращению водопритоков;
- проработку решений по очистке карьерных вод для соблюдения природоохранного законодательства.

При выборе стратегии необходимо обеспечить устойчивую, экологически безопасную и эффективную отработку запасов с учетом требований основных стейкхолдеров.

**Варианты развития горных работ с учетом экологических ограничений**

Исходя из условий, рассмотренных в предыдущем разделе, при проработке стратегических решений по дальнейшему освоению месторождения приняты во внимание следующие осложняющие факторы:

1. Близкое расположение рек «Малая» и «Большая» и угроза подтопления карьера как в период половодья, так и через аллювиальную толщу.

2. Прямая гидравлическая связь подземных вод с поверхностными водами рек «Малая» и «Большая».

3. Сложный химический состав подземных вод, требующий их утилизации или многоступенчатой очистки до норм рыбохозяйственных характеристик, для возможности последующего сброса в ближайшие водотоки.

Для каждого фактора с использованием результатов ранее проведенных исследований и опыта предприятий-аналогов были выполнены анализ и оценка возможных решений.

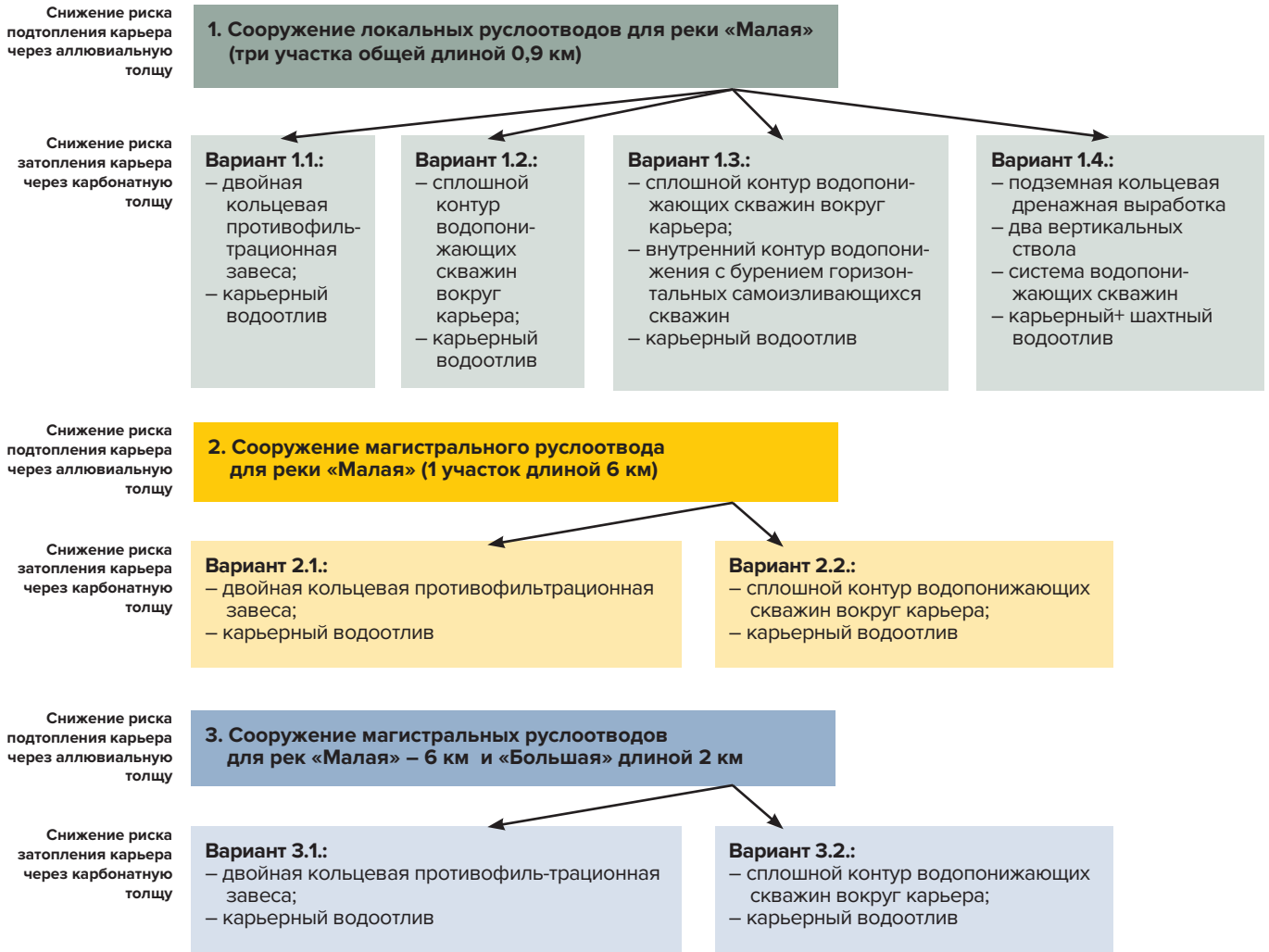
В данной статье решения по водоочистке не рассматривались, так как они будут определяться по результатам реализации мероприятий по сокращению водопротоков и уточнению количества поступающей воды на очистные сооружения.

<sup>1</sup> В связи с условиями конфиденциальности названия объектов изменены.

Таблица 1  
Укрупнённые варианты защиты карьера месторождения известняков «Западное» от поверхностных и подземных вод

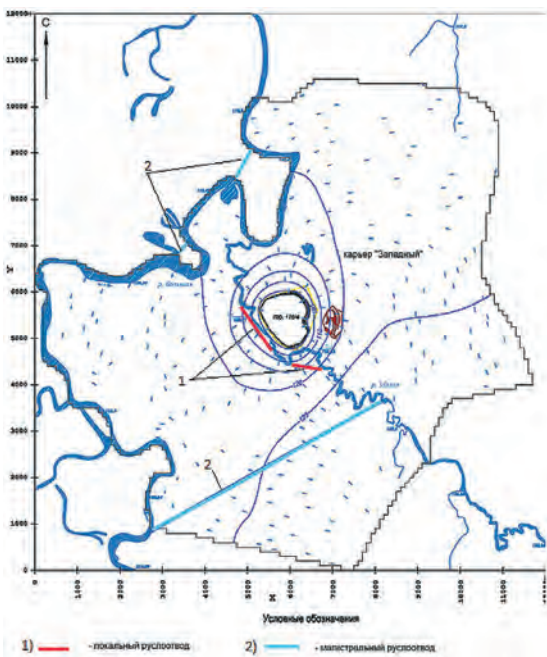
Table 1  
Consolidated options for surface and groundwater protection of the Zapadnoe limestone open pit

Осложняющий фактор	Варианты технических решений, снижающих воздействие осложняющего фактора	Примечание		
<p>1. Близкое расположение р. «Малая» и р. «Большая». Подтопление карьера через аллювиальную толщу и в период половодья</p>	<p><b>Защита территории карьера от затопления во время половодья:</b></p> <p>Устройство полукольцевой защитной дамбы: – длина ~2500 м; – высота – не менее 7 м; – высота дамбы зависит от максимального подъема уровня воды р. «Малая» и «Большая» в периоды паводков</p>	<p>Пойма рек затопляется с угрозой затопления карьера во время прохождения высоких вод половодья</p>		
	<p><b>Снижение риска подтопления карьера со стороны р. «Малая» и «Большая» через аллювиальную толщу</b></p>			
	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="371 680 663 1133"> <p><b>1. Сооружение локальных руслоотводов:</b> – для р. «Малая» (ближайшее приближение к карьере – 3 руслоотвода), общая длина руслоотвода 845 м</p> </td> <td data-bbox="663 680 951 1133"> <p><b>2. Сооружение магистрального руслоотвода:</b> – для р. «Малая» (ближайшее приближение к карьере – 1 руслоотвод юго-восточнее карьера сразу в р. «Большая»), общая длина руслоотвода 6 км</p> </td> <td data-bbox="951 680 1238 1133"> <p><b>3. Сооружение магистральных руслоотводов:</b> – для р. «Малая» (ближайшее приближение к карьере – 1 руслоотвод юго-восточнее карьера сразу в р. «Большая»), длина руслоотвода 6 км; – для р. «Большая» (2 руслоотвода с целью спрямления русла реки и удаления влияния меандр), общая длина руслоотвода 2,0 км</p> </td> </tr> </table>	<p><b>1. Сооружение локальных руслоотводов:</b> – для р. «Малая» (ближайшее приближение к карьере – 3 руслоотвода), общая длина руслоотвода 845 м</p>	<p><b>2. Сооружение магистрального руслоотвода:</b> – для р. «Малая» (ближайшее приближение к карьере – 1 руслоотвод юго-восточнее карьера сразу в р. «Большая»), общая длина руслоотвода 6 км</p>	<p><b>3. Сооружение магистральных руслоотводов:</b> – для р. «Малая» (ближайшее приближение к карьере – 1 руслоотвод юго-восточнее карьера сразу в р. «Большая»), длина руслоотвода 6 км; – для р. «Большая» (2 руслоотвода с целью спрямления русла реки и удаления влияния меандр), общая длина руслоотвода 2,0 км</p>
<p><b>1. Сооружение локальных руслоотводов:</b> – для р. «Малая» (ближайшее приближение к карьере – 3 руслоотвода), общая длина руслоотвода 845 м</p>	<p><b>2. Сооружение магистрального руслоотвода:</b> – для р. «Малая» (ближайшее приближение к карьере – 1 руслоотвод юго-восточнее карьера сразу в р. «Большая»), общая длина руслоотвода 6 км</p>	<p><b>3. Сооружение магистральных руслоотводов:</b> – для р. «Малая» (ближайшее приближение к карьере – 1 руслоотвод юго-восточнее карьера сразу в р. «Большая»), длина руслоотвода 6 км; – для р. «Большая» (2 руслоотвода с целью спрямления русла реки и удаления влияния меандр), общая длина руслоотвода 2,0 км</p>		
<p>2. Прямая гидравлическая связь через рыхлую покровную толщу с нижней карбонатной толщей известняка</p>	<p><b>Поверхностный способ защиты от подземных вод</b></p>	<p>Сложность гидрогеологических условий: наличие трех водоносных горизонтов, гидравлическая связь с водными объектами</p>		
	<p><b>Строительство двойной кольцевой противодиффузионной завесы совместно с использованием карьерного водоотлива:</b> – глубина скважин до 70 м; – варианты по применению различных тампонажных материалов (натлен, бентонит, портландцемент и др.)</p>			
	<p><b>Бурение контура водопонижающих скважин вокруг карьера (внешний контур водопонижения) совместно с использованием карьерного водоотлива</b></p> <p><b>Бурение горизонтальных дренажных скважин (внутренний контур водопонижения) совместно с внешним контуром водопонижения и использованием карьерного водоотлива</b></p>			
	<p><b>Комбинированный способ защиты от подземных вод</b></p>			
	<p>– Строительство подземной кольцевой дренажной выработки – Проходка двух шахтных стволов; – Сооружение шахтного водоотлива; – Бурение кольцевой системы водопонижительных (с поверхности) и восстающих (из дренажной шахты) скважин; – Карьерный водоотлив; – Очистные сооружения на максимальный приток</p> <p>При варианте магистральных руслоотводов рек не требуется вариант с комбинированной защитой и строительством дренажной шахты в связи с удаленностью водных объектов и минимизацией их влияния</p>			



**Рис. 1**  
Схема вариантов защиты карьера от подземных вод при углубке карьера ниже водоносного горизонта

**Fig. 1**  
Flowchart of groundwater protection options for sinking the open pit below the aquifer level



**Рис. 2**  
Варианты строительства руслоотводов

**Fig. 2**  
Options for construction of the diversion channels

В результате сформировано поле вариантов по сокращению водопритоков, которые приведены в табл. 1 и на рис. 1. Для снижения риска подтоплений и сокращения влияния рек были рассмотрены решения по строительству защитных дамб и отводу русел (рис. 2):

1. Отвод русел за пределы депрессионной воронки в местах максимального приближения рек к участку горных работ.
2. Строительство противофильтрационной завесы (ПФЗ) для исключения протечек воды через аллювиальную толщу.
3. Бурение контура водопонижающих скважин (ВПС), обеспечивающего перехват поступающей в карьер подземной воды.
4. Открытый водоотлив, позволяющий откачивать поверхностную и подземную воду, поступающую в карьер.

**Оценка вариантов и выбор стратегии развития горного предприятия**

Технико-экономическая оценка рассматриваемых вариантов осушения карьера и его дальнейшей углубки выполнена по стандартной методике с использованием дисконтирования. Для сравнения вариантов были оценены суммарные (эксплуатационные и инвестиционные)

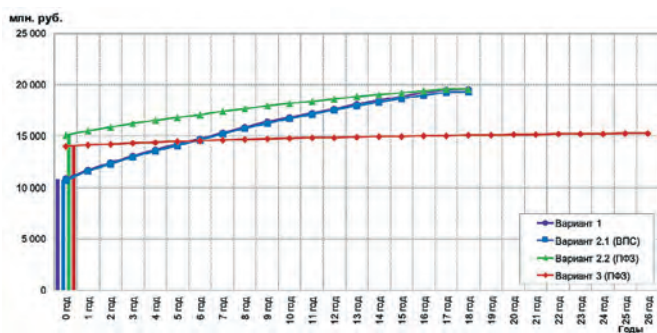


Рис. 3  
Динамика совокупных затрат с учетом дисконтирования (ставка дисконтирования 10%)

Fig. 3  
Evolution of total costs with discounting (10% discount rate)

затраты на реализацию мероприятий по отводу русел рек и осушению с учетом срока отработки месторождения. Для корректного сравнения вариантов был построен график дисконтированных совокупных затрат накопленным итогом по вариантам (рис. 3). Ставка дисконтирования принята на уровне 10%.

Исходя из критерия минимума совокупных затрат с учетом дисконтирования наилучшим вариантом можно признать Вариант 3, предусматривающий организацию магистрального руслоотвода рек «Малая» и «Большая» с разносной бортов и строительством противофильтрационной завесы.

Остальные рассмотренные варианты (Варианты 1, 2.1, 2.2) характеризуются высокими эксплуатационными затратами.

В результате расчетов установлено, что несмотря на значительные экологические ограничения и необходимость существенных капитальных вложений для минимизации их влияния реализация рассматриваемых решений по отводу русел и снижению водопритоков в горную выработку позволит нарастить запасы и увеличить срок службы на 17–20 лет.

### Список литературы

- Соколовский А.В., Заляднов В.Ю., Томила Н.Г., Егоров В.В. Выбор стратегии развития и параметров системы разработки Мокулаевского месторождения известняков. *Горный журнал*. 2021;(9):28–33. <https://doi.org/10.17580/gzh.2021.09.05> Sokolovskiy A.V., Zalyadnov V.Yu., Tomilina N.G., Egorov V.V. Selection of strategy and mining system for Mokulaevskoe limestone deposit. *Gornyi Zhurnal*. 2021;(9):28–33. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2021.09.05>
- Заляднов В.Ю., Гавришев С.Е., Михайлова Г.В., Кадеров С.С., Коваленко Н.В. Обоснование стратегии развития горнодобывающих предприятий на основе анализа доходности и риска при аутсорсинге и диверсификации. *Горная промышленность*. 2021;(4):134–139. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021-4-134-139> Zalyadnov V.Yu., Gavrishchev S.E., Mihailova G.V., Kaderov S.S., Kovalenko N.V. Justification of the development strategy of mining enterprises on the basis of analysis of profitability and risk in outsourcing and diversification. *Russian Mining Industry*. 2021;(4):134–139. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021-4-134-139>
- Корнилов С.Н., Гавришев С.Е., Калмыков В.Н., Гоготин А.А., Петрова О.В., Пыталев И.А. Изыскание эффективных вариантов отработки железорудных месторождений Бакальского рудного поля. *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2012;(1):5–10. Режим доступа: [http://vestnik.magtu.ru/images/data\\_base/2012\\_1/%D0%92%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA\\_2012\\_1\\_%D1%81\\_005-010.pdf](http://vestnik.magtu.ru/images/data_base/2012_1/%D0%92%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA_2012_1_%D1%81_005-010.pdf) Kornilov S.N., Gavrishchev S.E., Kalmykov V.N., Gogotin A.A., Petrova O.V., Pytalev I.A. Research of effective variants of working off iron ores deposits Bakals of an ore field. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2012;(1):5–10. (In Russ.) Available at: [http://vestnik.magtu.ru/images/data\\_base/2012\\_1/%D0%92%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA\\_2012\\_1\\_%D1%81\\_005-010.pdf](http://vestnik.magtu.ru/images/data_base/2012_1/%D0%92%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA_2012_1_%D1%81_005-010.pdf)

### Выводы

- Имеющиеся на сегодняшний день данные по геологическому и гидрогеологическому изучению месторождения «Западное» позволяют оценить гидрогеологические условия месторождения как весьма сложные. Привлекательность отработки обводненной части месторождения без реализации масштабных мероприятий по снижению притока подземных вод в карьерную выработку – низкая из-за высокого риска подтопления карьера подземными водами.
- Предварительная оценка рассмотренных вариантов защиты карьера «Западный» от поверхностных и подземных вод показала, что решения по снижению водопритоков есть, и наиболее оптимальным является вариант с магистральными руслоотводами рек «Малая» и «Большая» с применением двойного кольца противофильтрационной завесы.
- Для реализации варианта строительства магистрального руслоотвода рек «Малая» и «Большая» необходимо обязательно предусмотреть мероприятия по сохранению естественной среды обитания рыб.
- Достижение максимальной эффективности от предлагаемых мероприятий возможно только при одновременном выполнении двух условий: – организация магистрального отвода рек южнее действующего карьера; – создание противофильтрационной завесы вокруг карьера, отстроенного на полное извлечение запасов в проектом контуре.
- Комплексная реализация решений по осушению месторождения «Западное» позволит значительно нарастить запасы известняка за счет вовлечения в отработку запасов ниже водоносного горизонта и продлить срок службы карьера на срок не менее 17–20 лет.

4. Fourie G.A., Dohm G.C. Open pit planning and design. In: Kennedy B.A. (ed.) *Surface Mining*. 2<sup>nd</sup> ed. Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploretion Inc.; 1990. P. 1274–1301.
5. Mendoza J.-M.F., Feced M., Feijoo G., Josa A., Gabarrell X., Rieradevall J. Life cycle inventory analysis of granite production from cradle to gate. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2014;19(1):153–165. <https://doi.org/10.1007/s11367-013-0637-6>
6. Дабиев Д.Ф., Чульдум А.Ф. Оценка инвестиционного потенциала региона с преимущественно минерально-сырьевой ориентацией при различных сценариях освоения минеральных ресурсов. *Фундаментальные исследования*. 2020;(12):57–62. <https://doi.org/10.17513/fr.42909> Dabiev D.F., Chuldum A.F. Evaluation of investment potential of the region with a predominantly raw-material orientation under different scenarios of development of mineral resources. *Fundamental Research*. 2020;(12):57–62. (In Russ.) <https://doi.org/10.17513/fr.42909>
7. Пономаренко Т.В., Хан-Цай Е.А. Анализ проблем реализации горных стратегических инвестиционных проектов в современных российских условиях. *Управление экономическими системами*. 2016;(6):36–44.
8. Добровольский А.И., Леонов Е.И., Кutowой А.В., Заляднов В.Ю., Караулов Н.Г., Юсупов М.Э. Повышение эффективности разработки угольного разреза за счет оптимизации технологических параметров в сложных горно-геологических условиях. *Уголь*. 2019;(10):72–78. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2019-10-72-78> Dobrovolskiy A.I., Leonov E.I., Kutovoy A.V., Zalyadnov V.Yu., Karaulov N.G., Yusupov M.E. Increasing the efficiency of developing a coal mine by optimizing technological parameters in difficult mining and geological conditions. *Ugol*. 2019;(10):72–78. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2019-10-72-78>
9. Исайченков А.Б., Леонов Е.И., Кutowой А.В., Галимьянов А.А., Заляднов В.Ю., Караулов Н.Г. Обоснование рациональных параметров рабочей зоны при отработке разреза «Буреинский». *Уголь*. 2020;(11):22–28. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2020-11-22-28> Isaychenkov A.B., Leonov E.I., Kutovoy A.V., Galimyanov A.A., Zalyadnov V.Yu., Karaulov N.G. Justification of rational parameters of working zone during mining in “Bureinsky” open-pit mine. *Ugol*. 2020;(11):22–28. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2020-11-22-28>
10. Гавришев С.Е., Бурмистров К.В., Колонюк А.А. *Интенсивность формирования рабочей зоны глубоких карьеров*. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова; 2013. 187 с.
11. Ghorbani Y., Kuan S.H. A review of sustainable development in the Chilean mining sector: past, present and future. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 2016;31(2):137–165. <https://doi.org/10.1080/17480930.2015.1128799>
12. Arteaga F., Nehring M., Knights P. The equipment utilisation versus mining rate trade-off in open pit mining. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 2017;32(7):495–518. <https://doi.org/10.1080/17480930.2017.1306674>
13. Lolcama J.L., Cohen H.A., Tonkin M.J. Deep karst conduits, flooding, and sinkholes: lessons for the aggregates industry. *Engineering Geology*. 2002;65(2–3):151–157. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(01\)00122-3](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(01)00122-3)
14. Yakovlev E., Malov A., Druzhinin S., Zykova E., Malkov A., Bedrina D. Distribution of trace metals and an environmental risk assessment of the river sediments in the area of the Lomonosov diamond deposit (NW Russia). *Environmental Science and Pollution Research*. 2020;27(28):35392–35415. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09809-7>
15. Emilia-Cornelia D., Rusu T., Ciolea D.I., Rusu T.A. Assessment of pollution and environmental risk of mine acid waters from contaminated mining sites on surface waters in the brad perimeter. In: *Proceedings of the 19<sup>th</sup> International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019, 30 June – 6 July, 2019*. P. 47–54. <https://doi.org/10.5593/sgem2019/5.1/S20.006>
16. Vojteková Ja., Vojtek M., Boltžiar M. Impact of mining activities and natural hazards on land use: a case study from slovakia. In: *Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Multidisciplinary Scientific Conference on Social Sciences and Arts SGEM 2018, 26 August – 1 September, 2018*. P. 423–430. <https://doi.org/10.5593/sgemsocial2018/5.2/S20.053>
17. Dunca E.C., Olariu T., Rusu T., Ciolea D.I., Rusu T.A. Global assessment of pollution of the contaminated site in the brad mining perimeter. In: *Proceedings of the 18<sup>th</sup> International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018, 2–8 July, 2018*. P. 439–446. <https://doi.org/10.5593/sgem2018/5.1/S20.057>

## References

1. Sokolovskiy A.V., Zalyadnov V.Yu., Tomilina N.G., Egorov V.V. Selection of strategy and mining system for Mokulaevskoe limestone deposit. *Gornyi Zhurnal*. 2021;(9):28–33. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2021.09.05>
2. Zalyadnov V.Yu., Gavrishchev S.E., Mihailova G.V., Kaderov S.S., Kovalenko N.V. Justification of the development strategy of mining enterprises on the basis of analysis of profitability and risk in outsourcing and diversification. *Russian Mining Industry*. 2021;(4):134–139. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021-4-134-139>
3. Kornilov S.N., Gavrishchev S.E., Kalmykov V.N., Gogotin A.A., Petrova O.V., Pytalev I.A. Research of effective variants of working off iron ores deposits Bakals of an ore field. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2012;(1):5–10. (In Russ.) Available at: [http://vestnik.magtu.ru/images/data\\_base/2012\\_1/%D0%92%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA\\_2012\\_1\\_%D1%81\\_005-010.pdf](http://vestnik.magtu.ru/images/data_base/2012_1/%D0%92%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA_2012_1_%D1%81_005-010.pdf)
4. Fourie G.A., Dohm G.C. Open pit planning and design. In: Kennedy B.A. (ed.) *Surface Mining*. 2<sup>nd</sup> ed. Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploretion Inc.; 1990, pp. 1274–1301.
5. Mendoza J.-M.F., Feced M., Feijoo G., Josa A., Gabarrell X., Rieradevall J. Life cycle inventory analysis of granite production from cradle to gate. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2014;19(1):153–165. <https://doi.org/10.1007/s11367-013-0637-6>
6. Dabiev D.F., Chuldum A.F. Evaluation of investment potential of the region with a predominantly raw-material orientation under different scenarios of development of mineral resources. *Fundamental Research*. 2020;(12):57–62. (In Russ.) <https://doi.org/10.17513/fr.42909>
7. Ponomarenko T.V., Khan-Tsai E.A. Analysis of the problems of implementation of mining strategic investment projects in modern Russian conditions. *Управление экономическими системами*. 2016;(6):36–44. (In Russ.)
8. Dobrovolskiy A.I., Leonov E.I., Kutovoy A.V., Zalyadnov V.Yu., Karaulov N.G., Yusupov M.E. Increasing the efficiency of developing a coal mine by optimizing technological parameters in difficult mining and geological conditions. *Ugol*. 2019;(10):72–78. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2019-10-72-78>
9. Isaychenkov A.B., Leonov E.I., Kutovoy A.V., Galimyanov A.A., Zalyadnov V.Yu., Karaulov N.G. Justification of rational parameters of

- working zone during mining in “Bureinsky” open-pit mine. *Ugol*. 2020;(11):22–28. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2020-11-22-28>
10. Gavrishchev S.E., Burmistrov K.V., Kolonyuk A.A. *The intensity of the formation of the working zone of deep quarries*. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University; 2013. 187 p.
11. Ghorbani Y., Kuan S.H. A review of sustainable development in the Chilean mining sector: past, present and future. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 2016;31(2):137–165. <https://doi.org/10.1080/17480930.2015.1128799>
12. Arteaga F., Nehring M., Knights P. The equipment utilisation versus mining rate trade-off in open pit mining. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 2017;32(7):495–518. <https://doi.org/10.1080/17480930.2017.1306674>
13. Lolcama J.L., Cohen H.A., Tonkin M.J. Deep karst conduits, flooding, and sinkholes: lessons for the aggregates industry. *Engineering Geology*. 2002;65(2–3):151–157. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(01\)00122-3](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(01)00122-3)
14. Yakovlev E., Malov A., Druzhinin S., Zykova E., Malkov A., Bedrina D. Distribution of trace metals and an environmental risk assessment of the river sediments in the area of the Lomonosov diamond deposit (NW Russia). *Environmental Science and Pollution Research*. 2020;27(28):35392–35415. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09809-7>
15. Emilia-Cornelia D., Rusu T., Ciolea D.I., Rusu T.A. Assessment of pollution and environmental risk of mine acid waters from contaminated mining sites on surface waters in the brad perimeter. In: *Proceedings of the 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019, 30 June – 6 July, 2019*, pp. 47–54. <https://doi.org/10.5593/sgem2019/5.1/S20.006>
16. Vojteková Ja., Vojtek M., Boltžiar M. Impact of mining activities and natural hazards on land use: a case study from Slovakia. In: *Proceedings of the 5th International Multidisciplinary Scientific Conference on Social Sciences and Arts SGEM 2018, 26 August – 1 September, 2018*, pp. 423–430. <https://doi.org/10.5593/sgemsocial2018/5.2/S20.053>
17. Dunca E.C., Olariu T., Rusu T., Ciolea D.I., Rusu T.A. Global assessment of pollution of the contaminated site in the brad mining perimeter. In: *Proceedings of the 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018, 2–8 July, 2018*, pp. 439–446. <https://doi.org/10.5593/sgem2018/5.1/S20.057>

#### **Информация об авторах**

**Сokolovskiy Александр Валентинович** – доктор технических наук, член совета директоров, генеральный директор, ООО «НТЦ-Геотехнология», г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: [info@ustup.ru](mailto:info@ustup.ru)

**Терешина Мария Александровна** – кандидат экономических наук, финансовый директор, ООО «НТЦ-Геотехнология», г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: [tereshina@ustup.ru](mailto:tereshina@ustup.ru)

**Пикалов Вячеслав Анатольевич** – доктор технических наук, руководитель отдела, ООО «НТЦ-Геотехнология», г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: [pikalov@ustup.ru](mailto:pikalov@ustup.ru)

**Заляднов Вадим Юрьевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Российская Федерация; e-mail: [Zalyadnov@mail.ru](mailto:Zalyadnov@mail.ru)

#### **Информация о статье**

Поступила в редакцию: 30.06.2022

Поступила после рецензирования: 21.07.2022

Принята к публикации: 22.07.2022

#### **Information about the authors**

**Aleksandr V. Sokolovsky** – Dr. Sci. (Eng.), member of the Board of Directors, Chief Executive Officer, LLC STC-Geotechnology, Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: [info@ustup.ru](mailto:info@ustup.ru)

**Maria A. Tereshina** – Cand. Sci. (Econ.), Financial Director, LLC STC-Geotechnology, Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: [tereshina@ustup.ru](mailto:tereshina@ustup.ru)

**Vyacheslav A. Pikalov** – Dr. Sci. (Eng.), Head of Department, LLC STC-Geotechnology, Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: [pikalov@ustup.ru](mailto:pikalov@ustup.ru)

**Vadim Y. Zalyadnov** – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor at the Mining Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation; e-mail: [Zalyadnov@mail.ru](mailto:Zalyadnov@mail.ru)

#### **Article info**

Received: 30.06.2022

Revised: 21.07.2022

Accepted: 22.07.2022