

Закономерности геодинамических явлений при освоении глубокозалегающих сложноструктурных месторождений калийно-магниевых солей

М.В. Рыльникова¹✉, Е.Н. Есина¹, Е.М. Сахаров¹, Р.В. Бергер¹

¹ Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация

² ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий», г. Котельниково, Волгоградская область, Российская Федерация
✉rylnikova@mail.ru

Резюме: Геомеханическая ситуация при отработке глубокозалегающего сложноструктурного месторождения калийных солей требует разработки комплексной программы исследований с сочетанием инструментальных методов натуральных измерений в шахтных условиях, геофизики, системных визуальных наблюдений с оценкой структурных особенностей массива горных пород и влагопроявлений. Исследован механизм развития газодинамических явлений при освоении глубокозалегающих сложноструктурных соляных месторождений. Показано, что многообразие условий возникновения газодинамических явлений обусловлено трудной определимостью протекания процессов, происходящих в массиве горных пород, сложным строением массива с наличием разных свойств пород и неравномерностью распределения газов в краевой части выработанного пространства. Представлены рекомендации по проведению геомониторинга за развитием геодинамических явлений при освоении глубокозалегающего Гремячинского сложноструктурного соляного месторождения. Разработаны рекомендации по предотвращению развития опасных газо- и геодинамических процессов при разработке Гремячинского месторождения, обоснованы условия стабилизации проявлений горного давления.

Ключевые слова: глубокозалегающее месторождение, калийно-магниевые соли, подземная геотехнология, сложноструктурное строение, геодинамические явления, закономерности, прогноз, мониторинг

Для цитирования: Рыльникова М.В., Есина Е.Н., Сахаров Е.М., Бергер Р.В. Закономерности геодинамических явлений при освоении глубокозалегающих сложноструктурных месторождений калийно-магниевых солей. *Горная промышленность*. 2023;(1):89–94. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-1-89-94>

Regularities in geodynamic phenomena in mining deep-lying potassium-magnesium salt deposits with complex structure

M.V. Rylnikova¹✉, E.N. Esina¹, E.M. Sakharov², R.V. Berger²

¹ Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

² EuroChem VolgaKaliy LLC, Kotelnikovo, Volgograd Region, Russian Federation
✉rylnikova@mail.ru

Abstract: The geomechanical situation during mining of a deep-lying potassium-magnesium salt deposits with a complex structure requires development of a comprehensive research program that would combine instrumental methods of in situ measurements in the mine conditions, geophysics, and systematic visual observations with assessment of the rock mass structural features and water seepages. The authors studied the mechanism of gasdynamic phenomena that occur when developing deep-lying salt deposits characterized with a complex structure. It is demonstrated that a variety of conditions for occurrence of gasdynamic phenomena is caused by difficult-to-determine processes which take place in the rock mass, as well as by a complex structure of the rock mass where rocks with different properties are present and the gas distribution in the marginal part of the mined space is non-uniform. Recommendations are provided on geomonitoring of geodynamic phenomena development during mining of the deep-lying Gremyachinskoe salt deposits with complex structure. Recommendations on prevention of dangerous gas and geodynamic processes in mining of the Gremyachinskoe deposit are developed and conditions for stabilization of rock pressure manifestations are justified.

Keywords: deep-lying deposit, potassium-magnesium salts, underground mining methods, complex geological structure, geodynamic phenomena, regularities, forecast, monitoring

For citation: Rylnikova M.V., Esina E.N., Sakharov E.M., Berger R.V. Regularities in geodynamic phenomena in mining deep-lying potassium-magnesium salt deposits with complex structure. *Russian Mining Industry*. 2023;(1):89–94. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-1-89-94>

Введение: постановка проблемы

Многообразие условий проявления газодинамических явлений обусловлено трудной прогнозируемостью процессов, происходящих в массиве горных пород. Это объясняется и сложным строением массива с наличием включений пород с различным присутствием природной и техногенной нарушенности, и влиянием тектонических разломов, различием механических свойств составляющих пород и сложным полем природных напряжений, обусловленных действием гравитационных и газодинамических факторов, и неравномерностью распределения давления газов и воды, особенно в краевой части выработанного пространства [1–3].

Особую значимость и проблематичность решения задачи снижения риска газо- и геодинамических явлений приобретает их прогноз при освоении соляных месторождений, представленных сочетаниями достаточно прочных и упругих ангидрит-доломитовых пород разностями различных видов соли: карналлита, сильвинита, галита, характеризующихся пластичностью и имеющих относительно низкую прочность – 30–50 МПа. В кровле залегают достаточно крепкие и хрупкие ангидриды и доломиты с прочностью 120–140 МПа¹.

Общая схема геологического строения соленосной толщи глубокозалегающего сложноструктурного месторождения калийно-магниевых солей представлена на рис. 1.

Специфические особенности структурно-геологического строения массива горных пород, наличие тектонических нарушений, контактов пород разной прочности и упругости (табл. 1) приводят к возникновению концентраций напряжений слоистого массива с различными деформационными характеристиками при техногенном нарушении массива при проходке горных выработок и, как следствие, к хрупким разрушениям и вывалам пород в горные выработки. Зональная газоносность также создает дополнительное давление и концентрацию напряжений в краевой части массива.

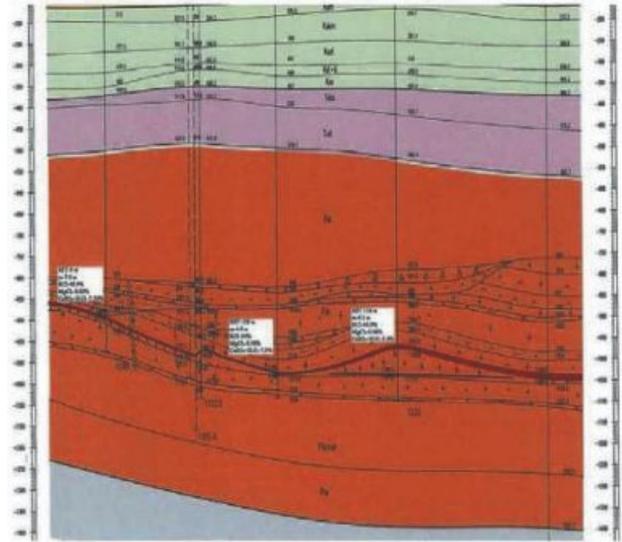


Рис. 1
Принципиальная схема геологического строения соленосной толщи глубокозалегающего сложноструктурного месторождения калийно-магниевых солей

Fig. 1
A schematic diagram of geological structure of the deep-lying salt-bearing layer of a potassium-magnesium salt deposit with complex structure

Факторы гео- и газодинамических проявлений

Влияние структурно-геологических факторов, тектонических нарушений, контактов пород разной прочности и упругости, концентраций напряжений приводит к возникновению гео- и газодинамических проявлений и хрупким разрушениям пород при ведении горных работ. Зональная газоносность также создает дополнительное давление и концентрацию напряжений, особенно в краевой части массива. Все это требует изыскания методов мониторинга состояния массива горных пород и разработки мероприятий по предотвращению гео- и газодинамических явлений [4; 5].

Таблица 1
Физико-механические свойства горных пород месторождения

Table 1
Physical and mechanical properties of rocks of the deposit

Литотип	Плотность, кг/м ³	Прочность на одноосное сжатие, МПа	Модуль упругости, ГПа	Модуль спада, ГПа	Коэффициент Пуассона	Предел прочности при растяжении, МПа	Сцепление, МПа	Угол внутреннего трения, град
Сильвинит	2114	37,0	23,27	4,10	0,20	3,3	5,2	35,2
Ангидрит	2862	119,9	67,93	823,49	0,16	9,7	19,4	35,1
Ангидрит-доломитовая порода	2715	82,4	46,48	261,82	0,13	8,9	17,1	35,8
Ангидрит-галитовая порода	2341	33,5	29,47	6,64	0,18	4,7	12,2	36,1
Каменная соль (зона замещения)	2222	38,7	24,45	6,57	0,20	3,2	7,9	32,9
Карналлит	1703	5,3	3,72	1,14	0,23	1,0	1,2	30,7

¹ Технический проект отработки Гремячинского месторождения подземным шахтным способом. Пермь: ОАО «Галургия»; 2015.

Установлено, что поле первоначальных напряжений в районе Гремячинского месторождения носит преимущественно геостатический характер, осложненный действием субгоризонтальных тектонических напряжений. Причем величина горизонтальных напряжений в скальных породах по предварительному прогнозу составляет $\sigma_x = \sigma_c = (0,5-0,6)\gamma H$, а в соленосодержащих породах, склонных к ползучести, соотношение первоначальных напряжений будет выше: $\sigma_x = \sigma_c = (0,8-1,0)\gamma H$.

Механизм газодинамических проявлений включает:

- формирование газоносных зон при активном перераспределении характеристик напряженно-деформированного состояния пород;

- иницирование газодинамических явлений при достаточно динамичном образовании свободных поверхностей, вскрывающих зоны концентрации напряжений;

- интенсивное развитие послойного отрыва и выноса газоносных отделностей при достаточно высоком перепаде газового давления и перераспределении компонент поля напряжений с образованием устойчивых полостей.

В районе Гремячинского месторождения калийно-магниевого солей в общем региональном поле присутствуют концентрации горизонтальных напряжений преимущественно субширотного простирания, которые и определяют ярко выраженную складчатость соляного пласта и его сложную морфологию.

Анализ направления действия и величин векторов распределения главных нормальных горизонтальных напряжений в массиве земной атмосферы свидетельствует о крайне неравномерном распределении зон концентрации горизонтальных сил на отдельных участках литосферы и о значительном превышении на отдельных участках массива горизонтальных напряжений над вертикальной составляющей горизонтального распора гравитационных сил в полном тензоре напряжений.

Установлено, что изменение в пространстве характеристики элементов залегания, структурная нарушенность массива горных пород, существенное различие их прочности и деформационных характеристик оказывают определяющее влияние на характер гео- и газодинамических проявлений при разработке месторождений.

За период 2021–2022 гг. было выполнено районирование шахтного поля месторождения на основании полной 3D-сейсмике, которая показала хорошую сходимость с данными натуральных замеров параметров залегания соляного пласта. В результате районирования выделены пологие участки с углами наклона 0–12° и наклонные участки с углами 12–35°. На основании результатов исследований построена уточненная 3D-модель месторождения, которая явилась основой для разработки технологической схемы и календарного плана ведения горных работ²[6; 7].

Разработка программы геомониторинга

Программа геомониторинга на глубокозалегающем сложноструктурном месторождении калийно-магниевого солей предусматривает сочетание региональных и локальных методов прогноза.

Складчатость соляного пласта, наличие структурно-геологических факторов, тектонических нарушений, контактов пород разной прочности и упругости приводят к возникновению концентраций напряжений и хрупким

разрушениям при ведении горных работ. Зональная газоносность также создает дополнительное давление и концентрацию напряжений в краевой части массива горных пород.

Так, динамические проявления на руднике Интернациональный имеют двойственную природу: проявления динамических явлений происходят в хрупко-упругих породах массива как при предельно высоком давлении газов в массиве (выбросы), так и при предельных значениях горного давления (геодинамические проявления). Возможны проявления от совместного действия этих факторов.

Активными по хрупко-упругому деформированию являются участки вмещающих пород, сложенные доломитом и солью, а также на контакте доломитов с рудой. Общим для этих проявлений является предельное напряженное состояние краевой части массива пород месторождения.

Традиционными методами прогноза являются бурение на дискование ядра и изучение параметров акустической эмиссии по методикам на удароопасность. Результаты прогнозов по керновому бурению на основе оценки параметров дискования ядра показали, что на отдельных участках в глубине массива возникают концентраторы напряжений. Выявлено, что участки с параметрами дискования ядра пород, указывающими на повышенную напряженность в интервалах глубины, возникают у контактов разнопрочностных пород и на участках с повышенным газонасыщением. При подходе выработок к этим участкам проводился локальный прогноз характеристик акустической эмиссии, который подтвердил повышенную напряженность на отдельных участках горных работ, но на данной стадии освоения месторождения они не опасны по горным ударам. Отмечено, что на участках слоистой структуры карбонатных пород с глинистыми разностями не возникают явления дискования ядра пород и повышенной активности акустической эмиссии.

Прогноз природного поля напряжений в массиве горных пород глубокозалегающего сложноструктурного месторождения калийно-магниевого солей показал, что поле первоначальных напряжений носит преимущественно геостатический характер, причем величина горизонтальных напряжений в скальных породах по предварительному прогнозу составляет $\sigma_x = \sigma_c = (0,5-0,6)\gamma H$, а в соленосодержащих породах, склонных к ползучести, соотношение первоначальных напряжений выше: $\sigma_x = \sigma_c = (0,8-1,0)\gamma H$.

По результатам замеров действующих напряжений методом щелевой разгрузки, выполненных ИПКОН РАН, определены параметры природного поля напряжений. Напряженное состояние близко к геостатическому полю. Вертикальные напряжения составляют $\sigma_v = 21-24$ МПа, то есть близки к γH , определяемой силой тяжести налегающих пород. Горизонтальные субмеридиональные (в направлении север-юг) напряжения равны $\sigma_{мер} = 4-8$ МПа. Горизонтальные субширотные (в направлении запад-восток) в два раза выше и составили по данным натуральных замеров $\sigma_{шир} = 8-16$ МПа, что указывает на наличие горизонтальной тектонической нагрузки в массиве горных пород, действующей преимущественно в субширотном направлении. Превышение значения горизонтальной субширотной компоненты соответствует региональному прогнозу напряженного состояния массива горных пород.

Ярко выраженная складчатость соляного пласта подтверждает результаты замеров неравномерного распределения значений горизонтальных напряжений в массиве пород месторождения.

2 Обобщение данных шахтных экспериментальных исследований газоносности и газодинамических характеристик горных пород Гремячинского месторождения калийных солей. Пермь: ГИ УрО РАН; 2021. 64 с.

Анализ результатов выполненной оценки акустической эмиссии на месторождении указывает на отсутствие в настоящий момент участков, опасных по горным ударам. Склонность массива горных пород к пластическому деформированию также подтверждает, что на данном этапе развития горных работ говорить о потенциальной удароопасности массива нет оснований.

С учетом сложности структурного строения и неравномерного распределения напряжений и деформаций в массиве горных пород разработаны рекомендации по формированию системы геомеханического и геофизического мониторинга состояния массива и земной поверхности.

Геомеханический мониторинг представляет собой систему систематических наблюдений в похожих условиях или в условиях, приведенных к стандартным, по единой методике с использованием одного и того же комплекта или аналогичного по точности с принятыми характеристиками оборудования.

Организация системы геомеханического мониторинга включает разработку комплекса мероприятий, решающих 4 основные группы задач:

1. Изучение свойств техногенной геосистемы, представленной горным массивом, горными выработками с развитием в них технологических процессов, предопределяет выявление основных наборов факторов, влияющих на поведение системы, а также установление закономерностей во взаимном влиянии выявленных факторов друг на друга и в наблюдаемых процессах, протекающих в изучаемой сложной и разнородной геосреде.
2. Моделирование и прогноз напряженно-деформированного состояния массива горных пород как сложной среды, содержащей все основные фазовые состояния вещества – твердое, жидкое и газообразное.
3. Наблюдения за геомеханическими процессами путем формирования системы мониторинга развития деформационных, гео- и газодинамических процессов, которая позволяет отслеживать изменения состояния и параметров физических, химических и физико-химических процессов, протекающих в изучаемом массиве горных пород. По результатам проводимого мониторинга выполняется сопоставление реального поведения массива горных пород и прогноза этого состояния по результатам моделирования. По результатам анализа данных мониторинга будет доказана возможность и правомерность применения построенной модели, при сходимости прогноза по результатам моделирования с данными мониторинга. В противном случае необходимо выполнить корректировку модели после выявления причин некоренного поведения геомеханической модели в рассматриваемых условиях.
4. Разработка методов управления развитием геомеханических процессов на базе разработанной и откалиброванной геомеханической модели массива горных пород.

Задачи мониторинга включают методическое обоснование требований по обеспечению безопасной и полной отработки запасов месторождения:

- контроль газовой атмосферы рудника;
- контроль газо- и геодинамических явлений;
- контроль целостности ВЗТ;
- контроль состояния земной поверхности и охрана объектов на ней.

Задачей автоматизированной системы аэрогазового мониторинга является оперативное обнаружение и прогноз зон интенсивного поступления газов при контроле процессов на безопасной дистанции (первые десятки метров) от места ведения горных работ. Методика предусматривает текущий контроль динамики параметров газового состава шахтной атмосферы с цифровой их фиксацией в автоматическом режиме. Для локального контроля газовой ситуации на выявленных потенциально опасных участках массива используются переносные газоанализаторы различных конструкций. Функция оповещения руководства в этом случае лежит на исполнителях контроля.

Следует отметить, что в настоящее время на руднике не ведется широкомасштабных очистных работ. Поэтому оптимальным, на наш взгляд, на современном этапе развития горных работ является оснащение проходческих комбайнов переносными газоанализаторами. При этом персонал должен не менее 2–3 раз за смену фиксировать состав шахтной атмосферы в специальном журнале с ситуационной привязкой положения комбайна, что позволит связать изменение атмосферы с геологической обстановкой. В качестве переносного оборудования рекомендованы переносные газоанализаторы типа КОМБИ-МК или ИГ-12.

Такой подход позволит выделить потенциально опасные районы и уточнить места расположения датчиков при проектировании автоматизированной системы контроля.

С учетом глубины залегания продуктивных для контроля целостности ВЗТ и деформирования налегающей толщи оптимальными являются подземные наблюдения.

В качестве таких наблюдений предусмотрены:

- установка глубинных реперов в восходящих скважинах, пройденных из камер первой очереди;
- наблюдения за конвергенцией стенок, кровли и почвы камер во времени с установлением закономерностей развития деформационных процессов;
- визуальные (телеметрические) наблюдения за состоянием структуры восходящих скважин;
- сейсморазведочные наблюдения за состоянием массива горных пород и водозащитной толщи методом общей глубинной точки;
- сейсмодпросвечивание целиков между камерами первой очереди, при формировании несущего закладочного массива в камерах первой очереди, в целиках между камерами второй или третьей очередей;
- сейсмодпросвечивание налегающей толщи из выработанного пространства отработанных камер.

Установка реперов на разных глубинах в восходящей скважине (рис. 2) позволяет не только измерять оседания налегающей толщи, но и оценивать разности оседаний по данным, полученным по соседним реперам, установить участки расслоения и отслоения массива. Визуальные наблюдения помогают уточнить интерпретацию наблюдений по реперам.

Измерение характеристик конвергенции контура камер является наиболее простым и доступным инструментом контроля целостности ВЗТ: в отработанных камерах устанавливается несколько пар реперов в стенках, в кровле и почве камер. До момента заполнения камер закладкой 2–3 раза в год с помощью электронной рулетки измеряются расстояния между реперами. При увеличении скорости развития деформаций или превышении конвергенцией критических величин разрабатываются

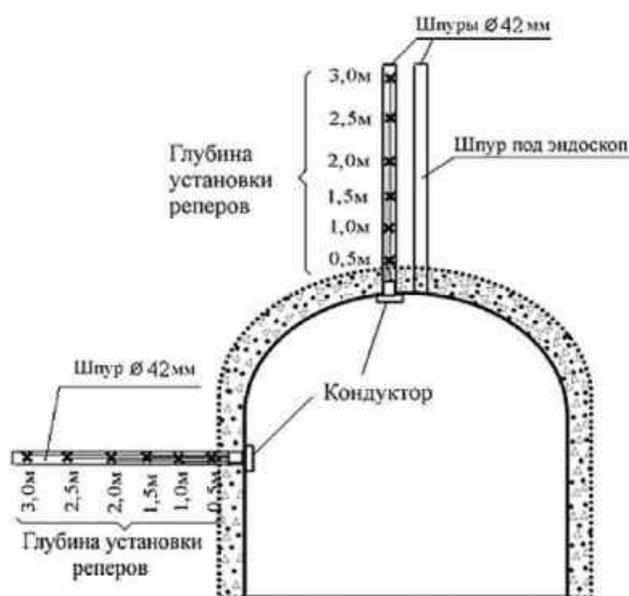


Рис. 2
Конструкция глубинных замеров в скважинах по показаниям станции контурных реперов

Fig. 2
Design of in-hole depth gauging based on contour reference station readings

и внедряются мероприятия по предотвращению развития оседаний³.

Сейсморазведочные наблюдения методом общей глубинной точки позволяют установить положение отражающих границ по площади месторождения, а серия наблюдений – установить изменение этих границ во времени [8]. При этом возможны сложности с установкой геофонов и выбором мест возбуждения сигнала. Предусмотрены установка геофонов в подготовительных выработках, а возбуждение сигналов – из отработанных камер. Сейсмопросвечивание междукамерных целиков предназначено для определения продолжительности процессов деформирования целиков в зависимости от условий их нагружения в динамике развития горных работ.

Разработаны рекомендации по предотвращению развития опасных газо- и геодинамических процессов при разработке глубокозалегающего сложноструктурного месторождения калийно-магниевых солей. Залегание в непосредственной кровле сильвинитовых пород достаточно крепких и хрупких доломитов и ангидритов с прослоями галита обуславливают вероятность геодинамических и газодинамических явлений при ведении проходческих и очистных работ.

³ Специальные мероприятия по безопасному ведению горных работ в условиях газового режима на Гремячинском месторождении калийных солей. Пермь; Котельниково: ГИ УрО РАН; 2018. 71 с.

Заключение:
разработка рекомендаций по предупреждению гео- и газодинамических явлений

Для предупреждения выбросов газов и горных пород в выделенных местах рекомендуется бурение опережающих скважин из забоя выработок, глубиной до 15 м, с шагом 10–12 м, так, чтобы мощность целика между забоем выработки и возможным местом скопления газов была не менее 2 м. Все такие скважины должны исследоваться на газоносность с помощью скважинных газоанализаторов.

Из практики отработки соляных месторождений известно, что газодинамическим процессам предшествует повышенный капез воды из кровли выработок. Поэтому организован контроль водопроявлений в подземных выработках с периодичностью не реже 1 раза в сутки.

При появлении признаков геодинамических явлений рекомендуется производить «отстой» выработок в течение 2–3 сут с постоянным контролем акустической эмиссии с помощью переносной аппаратуры Сапфир (СБ-32) или Prognoz. В случаях когда «отстой» выработки не дает снижения интенсивности акустической эмиссии, должна производиться разгрузка массива с помощью бурения строчки скважин (шпуров).

Для уточнения напряженного состояния массива пород рекомендуется продолжить серию натуральных измерений. При этом точки измерений должны размещаться на расстоянии от сопряжений горных выработок на расстояние не менее 20 м. Рекомендуется комплексирование измерений действующих напряжений методами щелевой разгрузки, сейсморазведки и электротриетрии.

Следует исключить возможность проникновения рассолов по трещинам под сильвинитовый пласт, что может способствовать растворению подстилающей пачки карналлита, который, по имеющимся данным, является наиболее опасным по газопроявлениям. Недопустимость вскрытия карналлитового пласта также свидетельствует в пользу отказа от технологии гидрозакладочных работ и необходимости поиска альтернативных вариантов закладки – сухих, либо характеризующихся отсутствием водоотдачи смесей.

Достаточно сложная геомеханическая ситуация при отработке глубокозалегающего сложноструктурного месторождения калийных солей требует разработки комплексной программы геомеханических исследований с сочетанием инструментальных методов натуральных измерений в шахтных условиях, геофизики, системных визуальных наблюдений с оценкой структурных особенностей массива горных пород и влагопроявлений.

Список литературы

1. Трубецкой К.Н. (ред.) *Развитие ресурсосберегающих и ресурсовоспроизводящих геотехнологий комплексного освоения месторождений полезных ископаемых*. М.: Институт проблем комплексного освоения недр РАН; МедиаМир; 2014. 196 с.
2. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Особенности технического переоснащения подземных рудников на современном этапе развития геотехнологий. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2018;(3):113–122.
3. Барях А.А., Андрейко С.С., Федосеев А.К. Газодинамическое обрушение кровли при разработке месторождений калийных солей. *Записки Горного института*. 2020;246:601–609. <https://doi.org/10.31897/PMI.2020.6.1>

4. Иофис М.А., Есина Е.Н., Мараков В.Е., Чистяков А.Н. Геомеханические критерии безопасной отработки Гремячинского месторождения калийных солей. *Маркшейдерский вестник*. 2011;(4):44–52.
5. Токсаров В.Н., Морозов И.А., Бельтюков Н.Л., Ударцев А.А. Исследование деформирования подземных горных выработок в условиях Гремячинского месторождения калийных солей. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2020;(7):113–124. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-7-0-113-124>
6. Токсаров В.Н., Бельтюков Н.Л., Ударцев А.А., Морозов И.А., Пospelov Д.А. Результаты оценки напряжений в нетронутом массиве ангидрит-доломитовых пород. *Горное эхо*. 2022;(2):62–67.
7. Морозов И.А., Паньков И.Л., Токсаров В.Н. Изучение устойчивости горных выработок в соляных породах. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2021;(9):36–47. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_9_0_36
8. Барях А.А., Санфиоров И.А., Федосеев А.К., Бабкин А.И., Цаюков А.А. Сейсмо-геомеханический прогноз состояния водозащитной толщи на калийных рудниках. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2017;(6):10–22. <https://doi.org/10.15372/FTPRPI20170602>

References

1. Trubetskoy K.N. (ed.) *Development of resource-saving and resource-replacing geotechnologies for integrated development of mineral deposits*. Moscow: Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources; MediaMir; 2014. 196 p. (In Russ.)
2. Kaplunov D.R., Rylnikova M.V. Features technical re-equipment of underground mines at the present stage of development of geotechnologies. *Izvestiya Tl'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*. 2018;(3):113–122. (In Russ.)
3. Baryakh A.A., Andreiko S.S., Fedoseev A.K. (2020). Gas-dynamic roof fall during the potash deposits development. *Journal of Mining Institute*. 2020;246:601–609. <https://doi.org/10.31897/PMI.2020.6.1>
4. Iofis M.A., Esina E.N., Marakov V.E., Chistyakov A.N. Geomechanical criteria for the safe mining of the Gremyachinskoe potash deposit. *Mine Surveying Bulletin*. 2011;(4):44–52. (In Russ.)
5. Toksarov V. N., Morozov I. A., Beltyukov N. L., Udartsev A. A. Deformation of underground excavations under conditions of the Gremyachinsk potassium salt deposit. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2020;(7):113–124. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-7-0-113-124>
6. Toksarov V.N., Beltyukov N.L., Udartsev A.A., Morozov I.A., Pospelov D.A. Results of stress assessment in the intact anhydrite-dolomite rock mass. *Gornoe ekho*. 2022;(2):62–67. (In Russ.)
7. Morozov I.A., Pankov I.L., Toksarov V.N. Stability of underground openings in salt rock masses. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2021;(9):36–47. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_9_0_36
8. Baryakh A.A., Sanfirov I.A., Fedoseev A.K., Babkin A.I., Tsayukov A.A. Seismic–geomechanical control of water-impervious strata in potassium mines. *Journal of Mining Science*. 2017;53(6):981–992. <https://doi.org/10.1134/S1062739117063041>

Информация об авторах

Рыльникова Марина Владимировна – доктор технических наук, профессор, Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: rylnikova@mail.ru

Есина Екатерина Николаевна – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация

Сахаров Евгений Михайлович – исполнительный директор, ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий», г. Котельниково, Волгоградская область, Российская Федерация

Бергер Роман Владимирович – кандидат технических наук, директор по производству, ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий», г. Котельниково, Волгоградская область, Российская Федерация

Информация о статье

Поступила в редакцию: 19.01.2023

Поступила после рецензирования: 14.02.2023

Принята к публикации: 15.02.2023

Information about the authors

Marina V. Rylnikova – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation; e-mail: rylnikova@mail.ru

Ekaterina N. Esina – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Senior Research Associate, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Evgeny M. Sakharov – Executive Director, EuroChem Volga-Kaliy LLC, Kotelnikovo, Volgograd Region, Russian Federation

Roman V. Berger – Cand. Sci. (Eng.) Director of Production, EuroChem VolgaKaliy LLC, Kotelnikovo, Volgograd Region, Russian Federation

Article info

Received: 19.01.2023

Revised: 14.02.2023

Accepted: 15.02.2023