

Обоснование мощности потолочины камер при разработке обводненных месторождений гипса

А. Н. Дулин, Б. Г. Догузов✉

ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова»,
г. Новочеркасск, Российская Федерация
✉ doguzovbg@mail.ru

Резюме. В работе исследована роль защитной пачки гипса, оставляемой в потолочине камер при камерно-столбовой системе разработки нерудных месторождений. Отмечается недостаточная изученность вопроса при отработке участков с различной трещиноватостью. Защитная пачка рассматривается как ключевой фактор гидроизоляции очистной зоны от Нижне-казанских водоносных горизонтов Бебяевского месторождения. Проведены исследования по установлению коэффициентов структурного ослабления гипсового массива на Бебяевском месторождении, которые использованы в предложенной методике расчета предохранительных целиков с учетом физико-механических свойств пород и глубины горных работ. Оптимизация толщины потолочины до 1,0 м в зависимости от трещиноватости массива позволит дополнительно извлекать из одной панели до 1 610 м³, что существенно снизит потери без увеличения затрат на добычу. Данная методика может быть рекомендована для отработки обводненных месторождений гипса, залегающих на глубине до 250 м.

Ключевые слова: гипс, трещиноватость, закарстованность, обводненность, каверны, потолочина камер

Для цитирования: Дулин А.Н., Догузов Б.Г. Обоснование мощности потолочины камер при разработке обводненных месторождений гипса. *Маркшейдерия и недропользование*. 2026; 26 (3): 39-44. <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-3-39-44>.

Justification of the capacity of the chamber ceiling during the development of flooded gypsum deposits

A. N. Dulin, B. G. Doguzov✉

South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M. I. Platov, Novocherkassk, Russian Federation
✉ doguzovbg@mail.ru

Abstract. The paper investigates the role of a protective gypsum pack left in the ceiling of chambers during a chamber-pillar system for the development of non-metallic deposits. There is an insufficient study of the issue during the development of sites with various fractures. The protective pack is considered as a key factor in waterproofing the treatment area from the Nizhnekazansky aquifers of the Bebyaevsky field. Studies have been conducted to establish the coefficients of structural weakening of the gypsum massif at the Bebyaevsky deposit, which are used in the proposed method for calculating safety pillars, taking into account the physical and mechanical properties of rocks and the depth of mining operations. Optimizing the thickness of the ceiling to 1.0 m depending on the fracturing of the array, it will allow additional extraction of up to 1610 m³ from one panel, which will significantly reduce losses without increasing production costs. This technique can be recommended for mining flooded gypsum deposits at depths up to 250 m.

Keywords: gypsum, fracturing, karstification, water saturation, cavities, ceiling of the cameras

For citation: Dulin A.N., Doguzov B.G. Justification of the capacity of the chamber ceiling during the development of flooded gypsum deposits. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2026; 26 (3): 39-44. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-3-39-44>.

Введение

Рациональная разработка месторождений полезных ископаемых предполагает наиболее полное их извлечение. На практике эта задача всегда актуальна, но связана с определенными сложностями как технологического характера, так и обеспечения безопасных условий ведения работ [1].

В настоящее время использование гипса имеет первостепенное значение для развития сырьевой базы производства строительных материалов. Рост спроса на экологичные материалы уже сегодня формирует новые вызовы: по прогнозам Ассоциации производителей гипса, к 2030 г. потребление гипсокартона в России достигнет 320 млн м²/год, что требует увеличения добычи сырья на 25–30 % [2].

Из всех месторождений гипса, расположенных на территории РФ, наиболее сложным по гидрогеологическим условиям залегания является Бебьевское месторождение, расположенное в Нижегородской области.

Цель исследований: обоснование мощности потолочины камер при разработке обводненных месторождений гипса.

Методы исследований

Для количественной оценки трещиноватости, закарстованности карбонатных и сульфатных пород и с целью расчета устойчивости потолочины и междукамерных целиков в выработанном пространстве на участке Z (рис. 1) проанализировано появление карстовых полостей по пробуренным скважинам.

В скважинах 88-114, 88-115 и других выявлены вытянутые (от 0,5 до 3 м и частично больше) разрушенные карстовые полости на глубинах от 43,5 до 58,5 м. Отрабатываемые пласты III–VI расположены между двумя водоносными горизонтами: нижнеказанским (безнапорным горизонтом, в кровле пластов) и сакмарским (напорным горизонтом, в почве пластов), обуславливающими обводнение отрабатываемых пластов.

В гипсовом пласте каверны встречаются от 0,3 до 0,5 м, частично заполнены водой. В результате проведенного анализа буровых журналов, сменных осмотров подготовительных

и очистных выработок, лабораторных экспериментов установлены поправочные коэффициенты структурного ослабления для двух категорий закарстованности на Бебьевском месторождении ($k_c-0,1$, $k_c-0,15-0,3$) (табл. 1). Установленные коэффициенты применяем при расчете предохранительного целика в кровле камер и опорных целиков.

Таблица 1 / Table 1

Категорирование участков массива
по степени карстовой опасности /
Categorization of the massif sections according
to the degree of karst danger

Категория	Тип полостей	Степень снижения прочности, %	Рекомендуемые меры
I (низкая)	Одиночные каверны <0,2 м	До 10	Стандартный расчет целиков
II (средняя)	Сеть каналов, каверны от 0,3–0,5 м	10–30	Увеличение ширины целика
III (высокая)	Каверны более 1,0 м, сквозные колодцы	>30	Закладка пустот или обход зоны

Результаты исследований

Обследование состояния потолочины выработок выполнялось на локальных, отрабатываемых участках шахтного поля, наиболее проблематичных с точки зрения общей геомеханической устойчивости шахтного поля.

Анализ отслоений пород на центральном участке месторождения показал, что зависимость между мощностью отслоений (0,1, 0,2, 0,3 м и выше) и площадью подчиняется логарифмически нормальному распределению. Увеличение объемов каверн связано со снижением трещиноватости. Поэтому при расчете ослабления массива следует учитывать наибольшее значение коэффициента трещиноватости или каверн. При заполнении трещин и каверн водой и глиной растет структурное ослабление пород, что приводит к увеличению потолочины и опорных целиков.

В качестве исходных данных для расчетов приняты

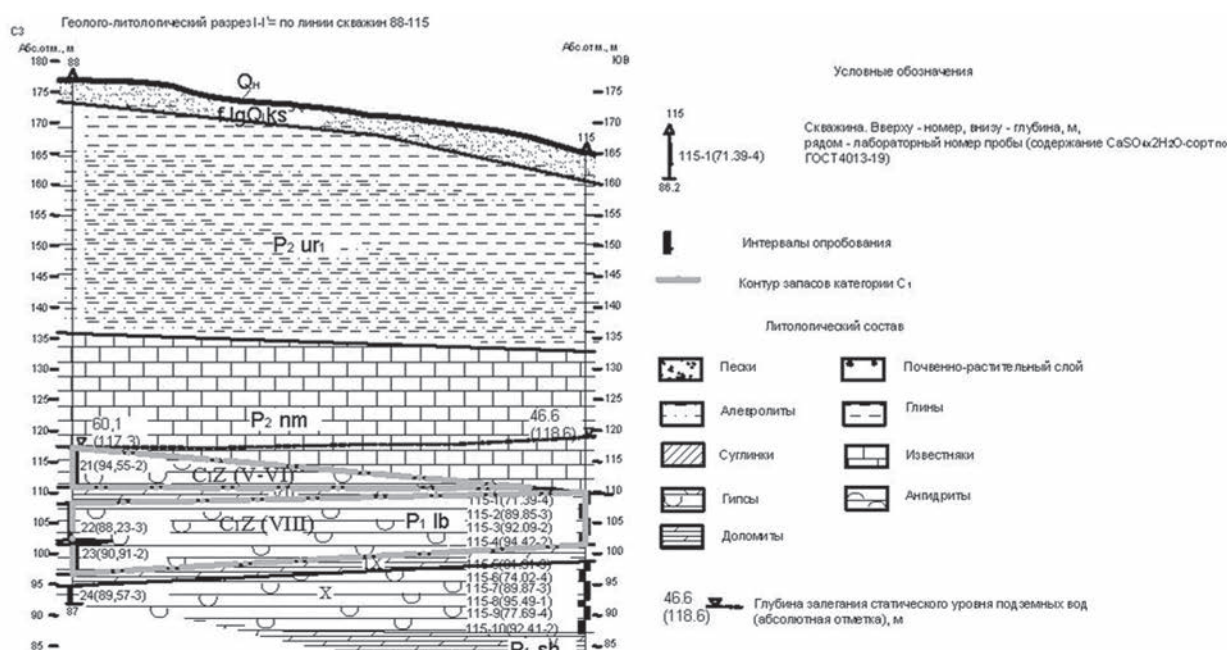


Рис. 1. Геологический разрез по скважинам 88-115 / Fig. 1. Geological section for boreholes 88-115

усредненные физико-механические характеристики гипса и вмещающих горных пород (табл. 2 и 3), приведенные в отчете по предварительной разведке Южного участка Бебьевско-го месторождения гипса.

Таблица 2 / Table 2

Физико-механические свойства гипса, принятые для расчета / Physico-mechanical properties of gypsum used for calculation

Показатель	Значение
Объемный вес руды γ , т/м ³	2,3
Коэффициент Пуассона ν	0,3
Модуль Юнга E , 10^6 Па	4,5
Предел прочности на одноосное сжатие $\sigma_{сж}$, МПа	25
Предел прочности на растяжение σ_p , МПа	8
Коэффициент пластичности $K_{пл}$	2,1

Таблица 3 / Table 3

Изменение коэффициента трещиноватости от величины трещин / Change of fracture coefficient from crack size

Величина трещиноватости, %	Коэффициент трещиноватости
До 5	0,95
До 10	0,75
До 15	0,6
До 20	0,45

На основании проведенных исследований гипсового массива на Южном участке установлены его структурные изменения при ведении горных работ на разной глубине (рис. 2).

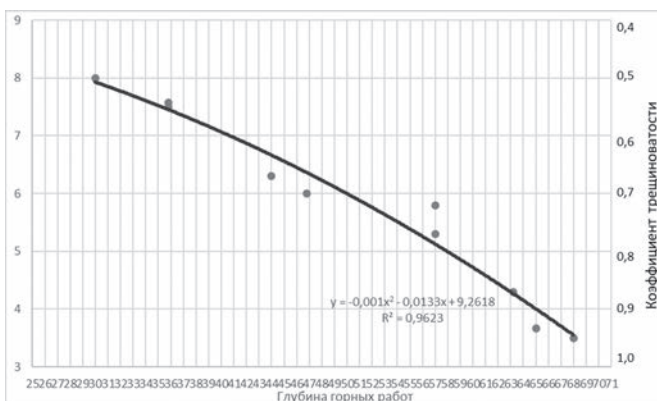


Рис. 2. Зависимость коэффициента структурного ослабления горных пород от глубины горных работ / Fig. 2. Dependence of the depth of mining operations on the coefficient of structural weakening of rocks

Из представленной зависимости следует, что с увеличением глубины горных работ массив гипса слабо насыщен трещинами и карстами. С уменьшением глубины работ возрастает структурное ослабление массива.

На графике (рис. 2) левая ее часть, представлена целыми числами для выбора зависимости, а правая – коэффициентом трещиноватости, показывающим предельные области для его учета. При залегании в кровле пласта гипса доломитов или известняка расчет предохранительного целика производится по контакту пород с учетом продольных сил.

Расчет предохранительного целика

Расчет нагрузки по теории Турнера – Шемякова [3] основан на допущении, что давление на потолочину и все цели-

ки одинаково и равно полному весу столба пород до земной поверхности, то есть прочность их рассчитывается на бесконечно большой срок службы. На основании теории свода естественного равновесия М. М. Протодяконов, П. М. Цимбаревич, В. Д. Слесарев, В. И. Голик, Ю. М. Либерман, В. Р. Рахимов и другие ученые определяли величину давления в кровле и на целики.

Большое внимание данной проблеме было уделено в работах ВНИМИ [3]. Эта теория предполагает, что нагрузка на междуканерные целики составляет лишь часть веса столба налегающих пород. Согласно исследованиям В. Р. Рахимова [4], который рассмотрел модель непосредственной кровли в виде упругой балки, прогнувшейся под действием пригрузки и собственного веса, в кровле возникают не только сжимающие напряжения, но и изгибающие моменты продольного изгиба.

Автор предположил, что эти напряжения вызываются приложенными из бесконечности продольными силами:

$$P = \lambda \gamma \sum_{n=1}^n H + h + h_1, \quad (1)$$

где λ – коэффициент бокового давления (соотношение между горизонтальными и вертикальными напряжениями);

γ – объемный вес налегающих пород, т/м³;

H – глубина залегания (ведения горных работ), м;

h – высота потолочины, м;

h_1 – мощность водного горизонта.

Основываясь на предположениях В. Р. Рахимова, А. А. Карпиков предложил формулу для определения предельного пролета кровли [4, 5], при котором происходит потеря устойчивости потолочины для очистных выработок

$$b_{пред} = 1,8 h \sqrt{\frac{E}{(\lambda-1)\gamma H}}, \quad (2)$$

где E – модуль Юнга, МПа.

В. Д. Слесарев [5, 6] предложил для предельного определения пролета обнажения формулу, не учитывающую влияние вертикального давления,

$$b_{пред} = \sqrt{\frac{2\sigma_p h}{\sigma_{гор}}} \quad (3)$$

где σ_p – предел прочности на растяжение, т/м²;

$\sigma_{гор}$ – влияние горизонтального давления, т/м².

Преобразовав данное тождество, получим формулу для вычисления минимальной мощности потолочины в кровле очистных выработок

$$h_{min} = \frac{0,62 \sigma_p H(\lambda-1)}{E}. \quad (4)$$

А.Б. Макаров [7, 8] предлагает рассчитывать λ из выражения

$$\lambda = \frac{\sum \sigma_{гор}}{2 \sigma_{верт}}. \quad (5)$$

$$\sigma_{гор} = \mu \lambda H, \quad (6)$$

где μ – коэффициент бокового распора, который зависит от коэффициента Пуассона;

$\sigma_{верт}$ – влияние вертикального давления, т/м².

В пластически деформирующихся породах

$$\mu = tg^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) \quad (7)$$

где φ – угол внутреннего трения.

Как видно из (1), мощность потолочины (защитного слоя) определяется физико-механическими свойствами горных пород и величиной давления налегающих пород (глубиной ведения работ) [9, 10].

При наличии трещиноватости или карстов в защитном слое в кровле выработок необходимо учитывать коэффициенты запаса прочности и трещиноватости, который можно принять по таблице 3.

$$h_{зк} = \frac{0,62n\sigma_p H (\lambda - 1)}{K_T E} \quad (8)$$

При планировании показателей извлечения по выемочной единице (блок, панель) необходимо учитывать потери по всем источникам их формирования. Однако во избежание получения завышенных показателей потерь необходимо рассматривать каждый вид индивидуально и рассчитывать нормативные значения [11, 12].

В потолочине камер по технологическим соображениям возможно оставление гипсового целика либо полная отработка гипсового пласта с выходом под покрывающие известняки [13, 14].

Установленная на участке Z минимальная мощность пород, оставляемых в потолочине по фактору устойчивости, определяем по формуле

$$h_1 = 0,625 \frac{\gamma_1 l^2 n}{\sigma_{сж} \cdot k_c} + 0,39 \frac{\gamma_1^2 l^4 n^2}{\sigma_{сж}^2 \cdot k_c^2} + \frac{l^2 \gamma n}{2,4 \sigma_{сж} \cdot k_c \cdot f} \quad (9)$$

где n – коэффициент запаса прочности;

l – длина пролета камеры (м);

γ – объемный вес налегающих пород (т/м³);

γ_1 – объемный вес пород, оставляемых в потолочине (т/м³);

$\sigma_{сж}$ – предел прочности на сжатие пород, оставляемых в потолочине (т/м²);

k_c – коэффициент структурного ослабления;

f – коэффициент крепости по М. М. Протоцкаянову.

После проведения натурных исследований, связанных с расчетом потолочин, авторами предложена формула

$$h_n = L \sqrt{\frac{0,01 \cdot n \cdot \gamma \cdot H}{\sigma_p}} \quad (10)$$

где 0,01 – постоянная величина, применяемая к расчету;

n – коэффициент (для широких камер более 8 м принимаем 0,2–0,25);

σ_p – предел прочности на растяжение (гипс 2,5 МПа = 250 т/м²).

При расчетах под водоносный горизонт закладываем запас прочности 5, тогда

$$\frac{2,5}{5} = 0,5 \text{ МПа} = 50 \text{ т/м}^2. \quad (11)$$

Тогда с учетом веса потолочины водного пласта и налегающей толщи при глубине разработки 50 м формула примет вид

$$h_n = 10 \cdot \sqrt{\frac{0,01 \cdot 0,25 \cdot 2,3 \cdot 50}{50}} = 0,75 \text{ м}, \quad (12)$$

принимаем 1 м при массивном гипсе. При глубине 100 м

$$h_n = 10 \cdot \sqrt{\frac{0,01 \cdot 0,25 \cdot 2,3 \cdot 100}{50}} = 1,0 \text{ м}. \quad (13)$$

При изменении глубины разработки пластов V–VII толщина безопасной потолочины должна быть не менее 1,0 м. При изменении толщины потолочины необходимо вводить коэффициенты запаса.

Коэффициент запаса прочности при оставлении в потолочине слоя покрывающих пород проверить по формуле

$$n = \frac{2,4 \cdot \sigma_{сж} \cdot k_c h_1}{l^2 \left(\frac{l \gamma}{h_1 f} + 3 \gamma_1 \right)}. \quad (14)$$

Расчеты показали, что для участка Z Бебяевского месторождения рекомендуется принимать безопасную величину потолочины не менее 1 м при залегании пласта гипса без трещиноватости. Если появляются трещины и каверны, то следует величину давления рассчитать в соответствии с установленными ранее коэффициентами K_c . Внедрение методических указаний по расчету потолочины приведено в техническом проекте [15, 16].

Приведенные расчеты оптимальной безопасной толщины потолочины показывают, что фактически оставляемые предохранительные целики в панелях 6, 7 и 8 составили 1,7–2,2 м.

Проведенные испытания в 2024–2025 годах в блоках (Ю-6, Ю-7, 8-9) по формированию потолочин, рассчитанных по приведенным формулам, показали их безопасность и устойчивость (в массиве без трещиноватости) на участке Z.

Данное предложение позволило сократить потери полезного ископаемого (гипса) в панелях Z-1, Z-2, Z-3.

При $h_n = 1,7$ м (проектные), $h_\phi = 1,0$ м (предлагаемые), расчет потерь в панели $L = 100$ м (длиной), $b = 10$ м (шириной), $\gamma = 2,3$ т/м³ (удельный вес).

Всего запасов гипса в потолочине

$$h_n \cdot L \cdot b \cdot \gamma = 1,7 \cdot 100 \cdot 10 \cdot 2,3 = 3\,910 \text{ м}^3. \quad (15)$$

При изменении

$$h_n \cdot L \cdot b \cdot \gamma = 1,0 \cdot 100 \cdot 10 \cdot 2,3 = 2\,300 \text{ м}^3 \quad (16)$$

$$\Delta\Pi = 3\,910 - 2\,300 = 1\,610 \text{ м}^3. \quad (17)$$

К отработке на участке Z планируется 10 панелей.

Таким образом, сокращение потерь гипса, оставляемых в потолочине камер, может сократиться до 41 %, что указывает на рациональное использование недр.

Приведем расчет коэффициента запаса для опорных целиков

$$n = \frac{P_{сж}}{P_\phi}, \quad (18)$$

где $P_{сж}$ – предел прочности на сжатие в образце (Г-25 – 25 МПа), умноженный на коэффициент структурного ослабления (0,5–0,7);

P_ϕ – фактическое напряжение в целике, оно рассчитывается по формуле

$$P_{\phi} = \frac{\gamma \cdot H}{1 - S_{\text{изв}}}, \quad (19)$$

где γ – плотность,

H – глубина разработки,

$S_{\text{изв}}$ = коэффициент извлечения (доля извлеченной площади).

Давление нетронутого массива составляет 2,4 МПа. Если извлекаем 70 % ($S_{\text{изв}} = 0,7$), то нагрузка на оставленные целики возрастет до $\frac{2,4}{0,3} = 8$ МПа. Прочность массива гипса (Г–25) составляет 25 МПа, то тогда наш запас прочности составит $\frac{25}{8} = 3,12$. Это допустимый предел при величине трещиноватости массива, не превышающего 10 %.

Заключение

1. На основании обработки кернов скважин и шламов шпуров горных выработок установлено категорирование участка Z по карстовым полостям и трещиноватости.

2. Предложена методика расчета устойчивости потолоч-

ны камер на основании фактических физико-механических свойств разрабатываемого гипса.

3. Установлено оптимальное значение предохранительной потолочины толщиной 1,0 м. Оптимизация толщины потолочины в зависимости от разрабатываемого массива и сохранением дневной поверхности в одной панели составит 1 610 м³, что позволит более рационально использовать недра.

Выводы

1. В работе исследована роль защитной пачки гипса, оставляемой в потолочине камер при камерно-столбовой системе разработки нерудных месторождений.

2. Проведены исследования по установлению коэффициентов структурного ослабления гипсового массива на Бебяевском месторождении, которые использованы в предложенной методике расчета предохранительных целиков с учетом физико-механических свойств пород и глубины горных работ.

3. Данная методика может быть рекомендована для обработки обводненных месторождений гипса, залегающих на глубине до 250 м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Жараспаев М.А., Мустафин М.Г. Определение параметров повторной разработки рудных месторождений. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2019; 6: 3-15. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-6-16-3-15>.
- Zharaspaev M.A., Mustafin M.G. Determination of Parameters for Re-Development of Ore Deposits. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2019; 6: 3-15. (In Russ.). <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-6-16-3-15>.
- Чемоданов Д.Ю., Бугина В.М. Особенности Новомосковского гипсового месторождения: реконструкция условий формирования на основе анализа распределения примесей и характера изопахит. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2026; 1 (163): 2-3. Chemodanov D.Yu., Bugina V.M. Features of the Novomoskovsk Gypsum Deposit: Reconstruction of Formation Conditions Based on the Analysis of Impurities Distribution and the Nature of Isopachites. *International Research Journal*. 2026; 1 (163): 2-3. (In Russ.).
- Курчин Г.С., Волков Е.П., Зайцева Е.В. и др. Определение оптимальных параметров междукамерных целиков для экологически безопасной технологии добычи нерудных строительных материалов. *Современные проблемы науки и образования*. 2013; 5: 56-57. Kurchin G.S., Volkov E.P., Zaitseva E.V., et al. Determination of optimal parameters of inter-chamber pillars for environmentally safe technology of extraction of non-metallic building materials. *Modern problems of science and education*. 2013; 5: 56-57. (In Russ.).
- Вохмин С.А., Курчин Г.С., Майоров Е.С. К вопросу определения нормативных величин потерь при добыче ангидрита камерно-столбовой системой разработки. *Вестник МГТУ*. 2010; 1: 10-13. Vokhmin S.A., Kurchin G.S., Mayorov E.S. On the issue of determining the standard values of losses during the extraction of anhydrite by a chamber-column mining system. *Bulletin of MSTU*. 2010; 1: 10-13. (In Russ.).
- Догузов Б.Г., Дулин А.Н., Дулин А.А. Оценка систем разработки при изменении производственной мощности предприятия. *Интеллектуальная инженерная экономика: современные вызовы ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова, Новочеркасск*, 2025: 331-333. Doguzov B.G., Dulin A.N., Dulin A.A. Evaluation of development systems when the production capacity of an enterprise changes. *Intelligent Engineering Economics: modern Challenges of the M.I. Platon Moscow State Pedagogical University (NPI)*. Novocherkassk, 2025: 331-333. (In Russ.).
- Криницын Р.В., Худяков С.В., Давиденко А.А. и др. Исследование геомеханических условий массива горных пород олёкминского гипсового месторождения с целью обоснования параметров геотехнологии. *Вестник ИрГТУ*. 2015; 4 (99): 2-12. Krinitsyn R.V., Khudiyakov S.V., Davidenko A.A., et al. Study of the geomechanical conditions of the rock massif of the Olekminskoye gypsum deposit in order to substantiate the parameters of geotechnology. *Bulletin of IrSTU*. 2015; 4 (99): 2-12. (In Russ.).
- Добмайер Э. Разработка и внедрение эффективных вариантов технологии подземной добычи гипсов на Новомосковском месторождении. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 1999; 4: 7. Dobmayer E. Development and Implementation of Effective Options for Underground Gypsum Mining at the Novomoskovsk Deposit. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 1999; 4: 7. (In Russ.).
- Liya Zhang, Pengfei Gao, Zhengzheng Gan, et al. Surface subsidence monitoring of mining areas in human province based on Sentinel-1A and DS-InSAR. *Sensors (Basel)*. 2023; 23 (19): 8146. <https://doi.org/10.3390/s23198146>.
- Упорова Н.С., Леонова Л.В., Гуляева Т.Я. Фазообразование в гипсе при высоких температурах. *Минералы: строение, свойства, методы исследования*. 2024; 14: 9. Uporova N.S., Leonova L.V., Gulyaeva T. Ya. Phase formation in gypsum at high temperatures. *Minerals: structure, properties, research methods*. 2024; 14: 9. (In Russ.).
- Wang J., Fan K., Du J., et al. Effect of organosilicon modified epoxy resin on slurry viscosity and mechanical properties of polyurethane grouting materials. *Construction and Building Materials*. 2023; 387: 131585. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131585>.
- Жабин А.В., Кобылина О.Н. Морфологические особенности частиц гипса в зависимости от гидродинамических обстановок их образования. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2023; 4: 129-133. <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/4/129-133>. Zhabin A.V., Kobylina O.N. Morphological features of gypsum particles depending on the hydrodynamic conditions of their formation. *Bulletin of Voronezh State University. Series: Geology*. 2023; 4: 129-133. (In Russ.). <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/4/129-133>.

12. Юн А.Б., Макаров А.Б., Мосякин Д.В. и др. Нагруженность междукammerных целиков при повторной разработке. *Горный журнал*. 2002; 5: 24-26.
Yun A.B., Makarov A.B., Mosyakin D.V., Karpikov A.A., and Charkovsky K. I. The Load on Inter-Chamber Backs in Re-Development. *Mining Journal*. 2002; 5: 24-26. (In Russ.).
13. Панчуков Н.П., Захаров В.Н., Подольский В.А. Исследование параметров камерно- столбовой системы подземной разработки месторождений гипса. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2012; 5: 41-44.
Panchukov N.P., Zakharov V.N., Podolsky V.A. Investigation of the parameters of the chamber-pillar system of underground mining of gypsum deposits. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2012; 5: 41-44. (In Russ.).
14. Pawluszek-Filipiak K., Borkowski A. Integration of DInSAR and SBAS techniques to determine mining-related deformations using Sentinel-1 data: The case study of rydułtowy mine in Poland. *Remote Sensing*. 2020; 12 (2): 242. <https://doi.org/10.3390/rs12020242>.
15. Jahanmiri S., Noorian-Bidgoli M. Land subsidence prediction in coal mining using machine learning models and optimization techniques. *Environmental Science and Pollution Research*. 2024; 31 (22): 31942-31966. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-33300-2>.
16. Dirgėlienė N., Kordušas V. Stabilization of soil using polyurethane resin injection technology / International Conference Modern Building Materials, Structures and Techniques. *Cham: Springer Nature Switzerland*, 2023: 605-611. https://doi.org/10.1007/978-3-031-44603-0_62

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Александр Николаевич Дулин –

д-р техн. наук, профессор кафедры ПИМ Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) им. М. И. Платова, г. Новочеркасск, Российская Федерация

Борис Гивиевич Догузov –

аспирант кафедры горного дела Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) им. М. И. Платова, г. Новочеркасск, Российская Федерация; e-mail: doguzovbg@mail.ru

Критерии авторства:

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей.

Конфликт интересов:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 24.04.2026

Поступила после рецензирования: 17.06.26

Принята к публикации: 22.06.2026

ABOUT THE AUTHORS

Aleksandr N. Dulin –

Dr. Sci. (Eng.), professor at the Department of Industrial Innovation Management at the South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov, Novocherkassk, Russian Federation

Boris G. Doguzov –

Postgraduate Student at the Department of Mining at the South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov, Novocherkassk, Russian Federation; e-mail: doguzovbg@mail.ru

Contribution:

The authors declare the equal contribution of everyone to the work on the article.

Conflict of interest:

The authors declare no conflict of interest.

Article info

Received: 24.04.2026

Revised: 17.06.26

Accepted: 22.06.2026