ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2026;(2-1):85-98
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.83 DOI: 10.25018/0236_1493_2026_21_0_85

ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ ПОДРАБОТКИ ВОДОЗАЩИТНОЙ ТОЛЩИ ПЛАСТОМ КРАСНЫЙ-II В СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ НА ВЕРХНЕКАМСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ СОЛЕЙ

В.С. Беспалов

ПАО «Уралкалий», Березники, Россия, e-mail: Bespalov.VS@yandex.ru
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Березниковский филиал, Березники, Россия

Аннотация: Из опыта отработки сильвинитовых пластов на Дурыманском, Балахонцевском и Палашерском участках Верхнекамского месторождения солей установлено, что в сложных горно-геологических условиях происходит преждевременное обрушение пород кровли и ускоренная деформация междукамерных целиков, что ограничивает сроки и полноту внесения закладочного материала. Оценка влияния применяемой камерной системы разработки на сохранность водозащитной толщи при таких горно-геологических условиях показала высокую вероятность превышения основных критериев безопасности. Для повышения безопасности были предложены параметры камерной системы разработки с увеличенными междукамерными целиками в соответствии с методикой Турнера–Шевякова, не требующей внесения закладочного материала. На основании опыта разработки с оставлением податливых целиков были определены параметры камерной системы разработки с оставлением зоны смягчения вдоль постоянных границ выработанного пространства. С учетом мирового опыта рассмотрены и определены параметры альтернативных систем разработок, а именно, камерная с оставлением опорных целиков и столбовая с полной закладкой, при которых не только повысится безопасность, но и вырастет степень извлечения полезного ископаемого. Путем сопоставления полученных результатов были определены системы разработки, позволяющие добиться наименьших деформаций водозащитной толщи и наибольшего извлечения.

Ключевые слова: Верхнекамское месторождение солей, сильвинит, калийные соли, водозащитная толща, геомеханическая система, камерная система разработки, междукамерные целики, опорные целики, междуходовые целики, длинный очистной забой, закладка выработанного пространства.

Для цитирования: *Беспалов В. С.* Оценка безопасности подработки водозащитной толщи пластом Красный-II в сложных горно-геологических условиях на Верхнекамском месторождении солей // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2026. – № 2-1. – С. 85–98. DOI: 10.25018/0236_1493_2026_21_0_85.

Safety assessment of undermining of waterproof pillar by the Krasniy-II layer in complex mining and geological conditions of the Verkhnekamsk salt deposit

V.S. Bespalov

PJSC «Uralkali», Berezniki, Russia, e-mail: Bespalov.VS@yandex.ru
Perm National Research Polytechnic University, Berezniki Branch, Berezniki, Russia

© В.С. Беспалов. 2026.

Abstract: Based on the experience of mining sylvinite formations at the Durymansky, Balakhontsevsky and Palashersky sites of the Verkhnekamsk salt deposit, it was established that in complex mining and geological conditions, premature collapse of roof rocks and accelerated deformation of interchamber pillars occur, which limits the timing and completeness of filling material application. An assessment of the effect of the chamber mining system on the safety of the waterproof pillar under such mining and geological conditions showed a high probability of exceeding the main safety criteria. To improve safety, parameters of a chamber mining system with increased interchamber pillars in accordance with the Turner–Shevyakov method, and not requiring the introduction of backfill material, were proposed. Based on the experience of mining with the leaving of pliable pillars, parameters of a chamber mining system with the leaving of a softening zone along the constant boundaries of the mined-out space were determined. Taking into account world experience, parameters of alternative mining systems were considered and determined, namely, a chamber mining system with the leaving of supporting pillars and a pillar mining system with full backfill, which not only increase safety, but also increase the degree of mineral extraction. By comparing the obtained results, mining systems were determined that allow achieving the least deformations of the waterproof pillar and the greatest extraction.

Key words: Verkhnekamsk salt deposit, sylvinite, potassium salts, waterproof pillar, geomechanical system, chamber mining system, interchamber pillars, support pillars, interpass pillars, longwall face, backfilling of mined-out area.

For citation: Bespalov V. S. Safety assessment of undermining of waterproof pillar by the Krasniy-II layer in complex mining and geological conditions of the Verkhnekamsk salt deposit. MIAB. Mining Inf. Anal. Bull. 2026;(2-1):85-98. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2026_21_0_85.

Введение

Около 40 лет параметры камерной системы разработки на рудниках СКРУ-1, СКРУ-2 и БКПРУ-1 оставались неизменными: ширина камер 13—16 м при ширине междукамерных целиков (МКЦ) 10—14 м. Однако на Верхнекамском месторождении солей (ВКМС), как и на любых других месторождениях, самые легкодоступные и легкоизвлекаемые запасы исчерпываются и наблюдается тенденция к усложнению условий разработки месторождения. Так, с началом разработки рудников БКПРУ-2 и БКПРУ-3 горно-геологические условия стали ухудшаться: количество глинистых прослойков в пластах возросло с 1—2% до 4—5%, а глубина разработки увеличилась с 250 до 350 м, что привело к преждевременному обрушению горных пород из кровли в очистные камеры. В целях стабилизации ситуации ширина камер была заметно уменьшена — до 6,1 м, а отработка буровзрывным способом заменена на комбайновый [1—3].

Сейчас же разработка Балахонцевского и Палашерского участков ООО «ЕвроХим-УКК» сопровождается преждевременными обрушениями пород из кровли, ускоренными значениями горизонтальной конвергенции и оседаний земной поверхности, даже несмотря на принятую ширину камеры в 3,2 м. Увеличение содержания нерастворимого остатка на периферийных участках месторождения до 7—10%, а местами и выше — до 20% обуславливает необхо-

димость применения специальных мер по повышению устойчивости геомеханической системы. Наиболее простым решением проблемы является повышение устойчивости целиков путем увеличения их ширины, что, безусловно, снизит извлечение полезного ископаемого. Альтернативным методом повышения безопасности без снижения извлечения может являться применение иных систем разработки, которые нашли применение на других калийных предприятиях в мире [4—10].

Горно-геологические условия на ВКМС

Промышленными сильвинитовыми пластами на рудниках Верхнекамского месторождения являются пласты В, АБ и КрII сильвинитовых составов.

К сложным горно-геологическим условиям на месторождении можно отнести участки:

- повышенного содержания нерастворимого остатка (Н.О.), представленного в виде глинистых прослойков в пласте, более 5%;
- большой глубины (*H*), более 350 м.

По приведенным критериям к подобным участкам можно отнести участки в южной части ВКМС, представленные на рис. 1. Наиболее распространенным пластом, предусмотренным к отработке, является пласт КрII, поскольку пласт В, как и пласт АБ, зачастую замещен смешанными солями или представлен недостаточной геологической мощностью, отработка которых не предусмотрена [10].

Критерии безопасной подработки

К основным критериям безопасной отработки по условиям деформации водозащитной толщи (ВЗТ) на ВКМС в соответствии с требованиями «Указаний по защите рудников от затоплений» относятся:

- расчетное значение прогиба (V_{ok}) ВЗТ от ведения очистных работ не должно превышать значение допустимого прогиба [*V*]:

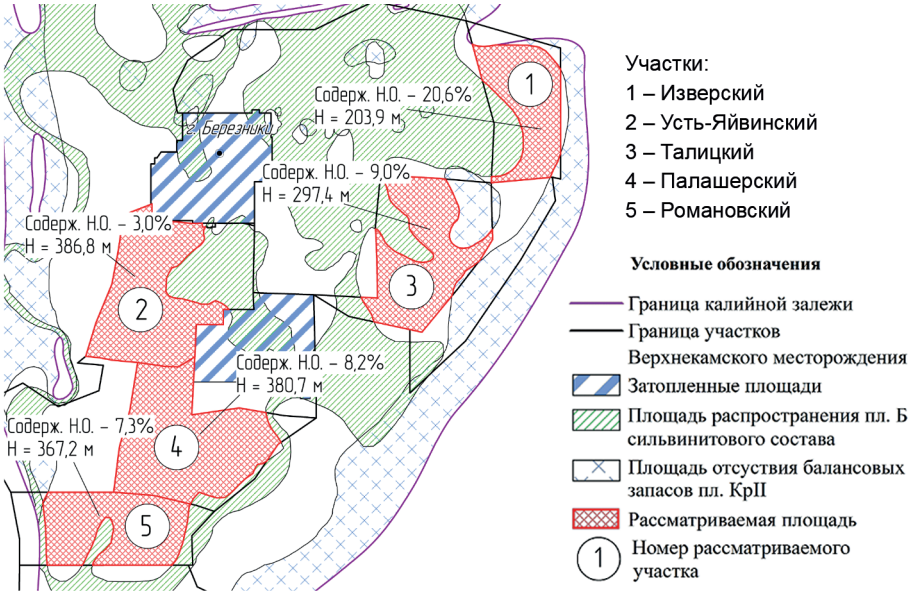


Рис. 1. Участки со сложными горно-геологическими условиями в южной части ВКМС

Fig. 1. Areas with complex mining and geological conditions in the southern part of the Verkhnekamsk salt deposit

$$V_{ok} \leqslant [V], \quad (1)$$

• максимально допустимое значение наклона земной поверхности ($i(z)_{max}$):

$$i(z)_{max} \leqslant 10 \text{ мм/м}. \quad (2)$$

Значение параметра V_{ok} соответствует значению максимального оседания земной поверхности (η_0) и, как и значение $i(z)_{max}$, определяется по общепринятым формулам с учетом требований «Указаний…», а также с учетом опыта применения камерной системы разработки с оставлением податливых целиков. Значение допустимого прогиба [V] определяется по ближайшим детальным скважинам [11, 12].

Критерием устойчивости междукамерных целиков принят показатель их степени нагружения (C) — отношение нагрузки (Q) к несущей способности (P):

• при значениях $C \leqslant 0{,}40$ — процесс сдвижения развивается равномерно со скоростью, не превышающей 50 мм/год, формируя у постоянной границы горных работ пологую краевую часть мульды сдвижения;

• при $C > 0{,}40$ — процесс сдвижения развивается ускоренно со скоростью до 300—1000 мм/год, формируя у постоянной границы горных работ крутую краевую часть мульды сдвижения с высокими показателями деформаций.

Для уменьшения деформаций ВЗТ при отработке с применением параметров, которые будут соответствовать ускоренному процессу сдвижения, необходимо вдоль постоянной границы выработанного пространства оставить зону смягчения, которая должна соответствовать требованиям [12]:

• ширина зоны смягчения:

$$L_{см} = 0{,}4 \times H, \quad (3)$$

• отношение конечных оседаний:

$$\eta_{см} / \eta_{осн} \approx 0{,}80, \quad (4)$$

• степень нагружения у постоянной границы выработанного пространства

$$C \leqslant 0{,}40, \quad (5)$$

• отношение расчетных степеней нагружения:

$$C_{см} / C_{осн} \approx 0{,}67, \quad (6)$$

• при невозможности соблюдения требований степени нагружения и конечных оседаний — необходимо оставление зоны смягчения в две или более ступеней при сохранении вышеперечисленных требований.

Длина полумульды при этом будет определятся при значениях δ_0 = 55° и ψ = 75° по формуле

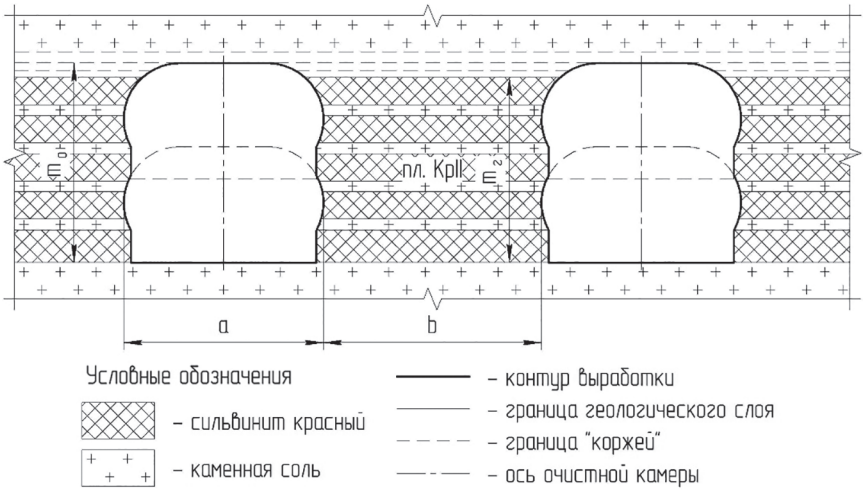
$$L = H \times \left(ctg\delta_0 + \frac{L_{см}}{H} + ctg\psi \right). \quad (7)$$

Существующая камерная система разработки

Камерная система разработки с оставлением ленточных междукамерных целиков на ВКМС нашла применение на всех разрабатываемых лицензионных участках и применяется с начала освоения месторождения (см. рис. 2). Отработка очистных камер осуществляется проходческо-очистным комбайновым комплексом с жесткими междукамерными целиками. После отработки, как правило, осуществляется гидравлическая закладка солеотходами с полнотой заполнения 75—80% по объему.

Как отмечено выше, в условиях повышенной глинизации или большой глубины, определяющих ускоренное разрушение элементов геомеханической системы, своевременно выполнить закладочные работы невозможно. Кроме того, скорости оседаний земной поверхности кратно превышают ожидаемые значения, вследствие чего у постоянных границ горных работ формируются краевые части мульды сдвижения с показателями наклона, превышающими допустимую величину (см. табл. 1) [8, 11].

В целях снижения скорости деформирования целиков и, соответственно,



a — ширина камеры, м (а); *b* — ширина междукамерных целиков, м;
$m_г$ — геологическая мощность пласта, м; $m_о$ — вынимаемая мощность, м

Рис. 2. Параметры камерной системы разработки
Fig. 2. Parameters of the chamber mining system with rib pillars

динамики оседаний земной поверхности наиболее простым решением является увеличение ширины МКЦ, что несомненно увеличит их несущую способность. Так, если скорость деформации МКЦ соответствует фактической степени нагружения *C* = 0,6, то, следуя методике Турнера — Шевякова, для обеспечения скорости оседаний 40 — 50 мм/год ($C_ф$ = 0,4) необходимо увеличить ширину междукамерных целиков в 1,5 — 1,7 раза. Показатели распределения деформаций в краевой части мульды сдвижения в этом случае будут сопоставимы с типовыми кривыми при *C* = 0,4. Безопасность подработки ВЗТ обеспечивается даже при отсутствии закладочного материала в выработке. Однако при таком увеличении МКЦ обратно пропорционально уменьшится и извлечение, которое является немаловажным показателем выбора системы разработки. Полученные параметры представлены в табл. 2 [13].

Отработка с податливыми параметрами и оставлением зоны смягчения вдоль постоянных границ не даст ощутимого эффекта, повышение извлечения составит приблизительно 3 — 4%. При этом, в соответствии с требованиями (3) — (7) и при отсутствии внесения закладочного материала, фактическая

Таблица 1

Параметры камерной системы разработки с критериями безопасной подработки
Parameters of the chamber development system with criteria for safe mining

Участок	$m_г$, м	*a*, м	*b*, м	$m_о$, м	ω	V_{ok}, м	[*V*], м	$i(z)_{max}$, мм/м
1	3,03	4,4	4,5	3,26	0,46	1,45	2,71	53,1
2	4,74	4,4	6,1	5,29	0,39	2,00	5,65	47
3	3,46	3,2	5,4	3,82	0,35	1,28	2,75	38,7
4	5,46	3,2	7,9	5,99	0,27	1,55	4,15	37
5	5,52	3,2	8,6	5,97	0,25	1,46	4,51	36,1

Таблица 2

Параметры камерной системы разработки с увеличенными МКЦ
Parameters of the chamber development system with enlarged interchamber pillars

Участок	*a*, м	*b*, м	m_o, м	ω	$i(z)_{max}$, мм/м
1	4,4	6,8	3,26	0,39	10,0
2	4,4	9,5	5,29	0,32	7,3
3	3,2	8,5	3,82	0,27	5,8
4	3,2	12,9	5,99	0,20	5,2
5	3,2	14,1	5,97	0,18	5,0

Таблица 3

Параметры камерной системы разработки с оставлением зоны смягчения
Parameters of the chamber mining system with the softening zone left

Участок	Параметры зоны смягчения			Параметры основной отработки			ω	$i(z)_{max}$, мм/м
	a, м	*b*, м	m_o, м	*a*, м	*b*, м	m_o, м		
1	4,4	8	3,26	4,4	5,4	3,26	0,43	9,9
2	4,4	11,5	5,29	4,4	7,4	5,29	0,35	8
3	3,2	10,5	3,82	3,2	6,6	3,82	0,31	6,3
4	3,2	16	5,99	3,2	10	5,99	0,22	6
5	3,2	17,5	5,97	3,2	10,8	5,97	0,21	5,9

степень нагружения ($C_ф$) в зоне смягчения должна соответствовать значению 0,33, в то время как в основной зоне — не более 0,50. Полученные параметры представлены в табл. 3.

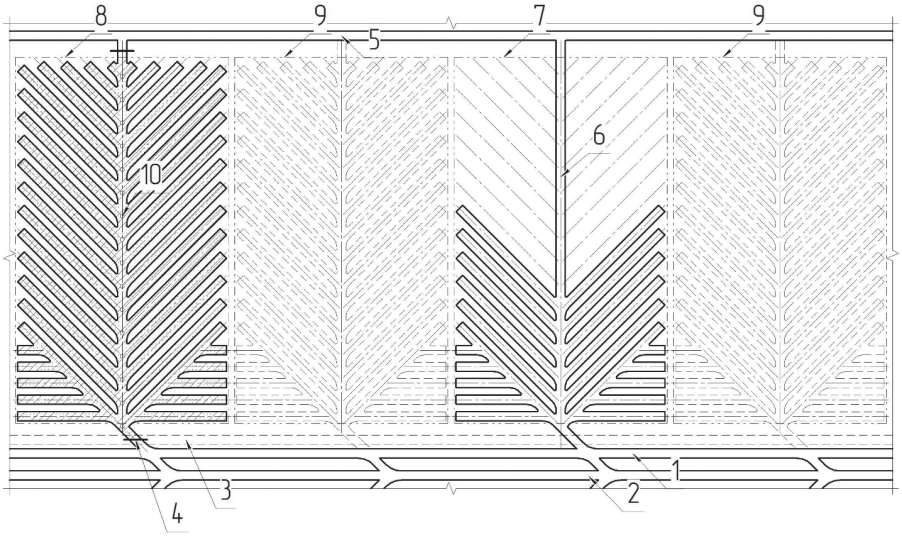
Среди альтернативных вариантов, которые уменьшат деформации ВЗТ и одновременно позволят не снизить извлечение полезного ископаемого, можно выделить две: камерную систему с оставлением опорных целиков и систему разработки длинным очистным забоем с закладкой [14, 15].

Камерная система разработки с оставлением опорных целиков

Подобная система разработки калийных пластов применятся на рудниках Саскачеванского месторождения (Канада), а также на Гремячинском месторождении (Россия). Сущность заключается в отработке камерными блоками, с оставлением междуходовых и опорных целиков, на которых поддерживается вышележащая толща (рис. 3). При ограничении ширины ($L_{кб}$) и длины камерного блока, принятой 200 м по технологическим причинам, зона полной отработки не сформируется, а оседания, как и деформации ВЗТ, полностью реализованы не будут [14, 15].

Ширина опорных целиков (*B*) определена при степени нагружения *C* = 0,4 с учетом возможного нарушения целостности пород кровли (Δm), численное значение которого не должно затрагивать не менее 10 м ВЗТ в верхней части. Значение допустимого прогиба ($[V]_{оп}$) определяется при суммировании оставшихся слоев в верхней части ВЗТ (см. рис. 4).

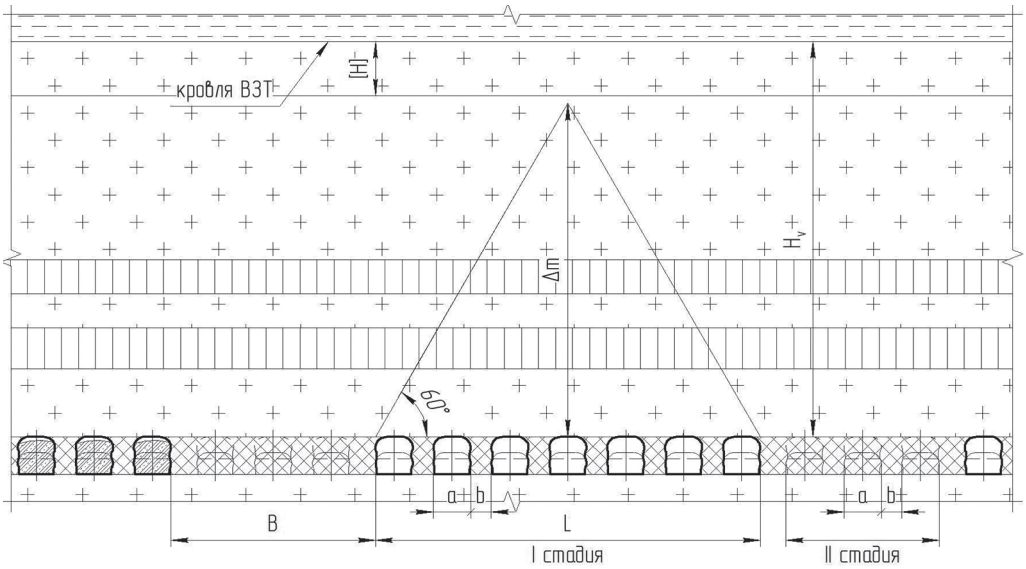
Ширина междуходовых целиков (*b*) определена при *C* = 0,6. Вынимаемая мощность — на всю геологическую с прирезкой двух нижних коржей. После осуществления отработки и гидроза-



1 – блоковый выемочный штрек (северный); 2 – блоковый конвейерный штрек;
3 – рассолоотводящий штрек по пл. КС; 4 – фильтрующая перемычка с «ловушкой» для рассолов;
5 – блоковый вентиляционный штрек; 6 – разрезной штрек; 7 – отрабатываемый камерный блок;
8 – закладываемый камерный блок; 9 – камерный блок II стадии отработки; 10 – закладочная скважина

Рис. 3. Схема ведения очистных работ при оставлении опорных целиков

Fig. 3. Scheme of room works in chamber mining with supporting pillars



L – ширина камерного блока, м; *B* – ширина опорного целика, м; *a* – ширина хода, м;
b – ширина междуходового целика, м; H_v – полная мощность водозащитной толщи, м;
Δm – возможное нарушение целостности пород камерного блока, м;
[*H*] – часть водозащитной толщи, нарушение целостности которой недопустимо, м

Рис. 4. Расчетная схема камерной системы разработки с оставлением опорных целиков

Fig. 4. Calculation scheme of the chamber mining system with support pillars

Таблица 4

Параметры камерной системы разработки с оставлением опорных целиков
Parameters of the chamber mining system with support pillars

Участок	Параметры камерных блоков				Параметры ходов		$V_{ок}$, м	$[V]_{оп}$, м
	L, м	B, м	$m_о$, м	Δm, м	a, м	b, м		
1	40	40	3,26	26,6	4,4	3,0	0,1	1,86
2	150	150	5,29	102,9	4,4	3,9	0,47	4,33
3	60	70	3,82	41,3	3,2	3,4	0,06	1,77
4	120	150	5,99	82,95	3,2	4,8	0,29	1,92
5	110	150	5,97	75,95	3,2	5,2	0,24	2,88

кладки возможна отработка опорных целиков II стадией с аналогичными параметрами. Важно учесть, что отработку необходимо начинать после набора прочности закладочным материалом, не ранее чем через 5 лет [16, 17].

В целях оценки влияния системы с оставлением опорных целиков на состояние ВЗТ приравняем участки первой стадии к условиям площади неполной подработки. Опыт разработки ВКМС показывает, что отработка податливыми целиками в зоне неполной подработки, в том числе и со сложными горно-геологическими условиями, не вызывает значительных деформаций поверхности и ВЗТ. Величины деформаций, в свою очередь, зависят от размеров выработанного пространства. Так, при выбранных параметрах отработки камерных блоков (табл. 4) ожидаемые оседания составят 10—40% от максимальных расчетных оседаний в зоне полной подработки.

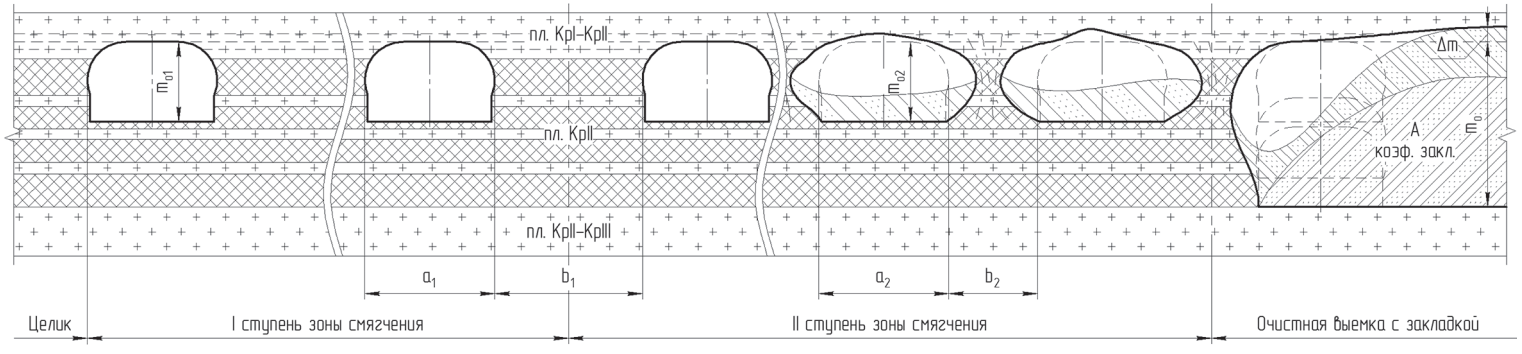
При отработке II стадией извлечение повысится с 16—30% до 38—59% по сравнению с принятой камерной системой разработки без оставления опорных целиков, а максимальное значение наклона на земной поверхности на конец процесса сдвижения изменится с 36—53 мм/м до значений 3,2—5,3 мм/м.

Немаловажным преимуществом является то, что технологически возможно осуществление гидрозакладочных работ с верхнего пласта сразу всего камерного блока, причем одновременно при ведении очистных работ в соседних камерных блоках. Таким образом, срок отставания закладочных работ от начала очистных может составлять не более 6 месяцев вместо 3—4 лет.

Столбовая система разработки с полной закладкой

Столбовая система разработки применяется на калийных рудниках Старобинского месторождения (Беларусь). На рудниках ВКМС система разработки длинным очистным забоем никогда не использовалась. Связано это с большими деформациями слоев ВЗТ, которые повышают риск затопления рудника. В целях снижения деформаций ВЗТ у постоянной границы горных работ извлечение балансовых запасов очистным забоем необходимо осуществлять с оставлением двухступенчатой зоны смягчения. Параметры отработки в зонах смягчения выбираются с учетом соблюдения условий (3)—(7) (табл. 5, 6, рис. 5). Отработку длинного очистного забоя необходимо осуществлять с полной закладкой, со степенью заполнения не менее 0,80. Дополнительно проводить оценку по высоте распространения рассолопроводящих трещин в ВЗТ при этом не требуется [12].

Ввиду отсутствия опыта применения систем разработок с длинным очистным забоем на ВКМС достоверно спрогно-



a_1, a_2 – ширина камер в I и II ступенях зон смягчения, м; b_1, b_2 – ширина междукамерных целиков в I и II ступенях зон смягчения, м;
m_{o1}, m_{o2}, m_o – вынимаемая мощность пласта в I и II ступенях зон смягчения, а также в очистной выемке, м

Рис. 5. Параметры столбовой системы разработки с зонами смягчения вдоль постоянных границ
Fig. 5. Parameters of the longwall mining system with softening zones along constant boundaries

Таблица 5

Параметры зон смягчения вдоль постоянных границ
Parameters of softening zones along permanent boundaries

Участок	Ступень I					Ступень II				
	a_1, м	b_1, м	m_{o1}, м	A_1, м	$L_{см1}$, м	a_2, м	b_2, м	m_{o2}, м	A_2, м	$L_{см2}$, м
1	4,4	4,2	[2,7]	0,5	82	4,4	2,8	[2,7]	0,5	82
2	4,4	4,5	[2,7]	–	155	4,4	3,0	[2,7]	–	155
3	3,2	5,0	[3,2]	–	119	3,2	3,2	[3,2]	–	119
4	3,2	5,8	[3,2]	–	153	3,2	3,7	[3,2]	–	153
5	3,2	6,3	[3,2]	–	147	3,2	4,0	[3,2]	–	147

зировать скорости и величины деформаций вышележащей толщи невозможно. Учитывая совокупный опыт влияния на динамику нарастания оседаний закладки при создании бутовых полос и механизированной закладки при отработке податливыми целиками, а также обрушаемость пород кровли на участках повышенного содержания глинистых прослойков, можно предположить следующее [18 – 25]:

• оставление двухступенчатой зоны смягчения вдоль постоянной границы выработанного пространства, а также внесение закладочного материала позволит исключить превышение критериев безопасной подработки ВЗТ на всех этапах ее деформации, вплоть до окончания процесса сдвижения;

Таблица 6

Параметры очистной выемки
Longwall mining parameters

Участок	m_o, м	A	Δm, м	ω
1	3,03	0,8	0,46	0,92
2	[4,3]	0,8	0,66	0,72
3	3,46	0,8	0,53	0,86
4	[4,0]	0,8	0,62	0,58
5	[3,8]	0,8	0,58	0,55

• высота обрушения пород кровли в выработанном пространстве составит не более 2 м;

• наибольшие скорости оседания составят 15 – 20%/мес от конечных или 200 – 300 мм/мес;

• расчетный срок реализации 90% конечных оседаний составит 6 месяцев;

Таблица 7

Расчетные значения максимального наклона ($i(z)_{max}$) для рассмотренных вариантов систем разработки
Calculated values of the maximum slope ($i(z)_{max}$) for the considered variants of development systems

Участок	Значение i(z)max, мм/м				
	существующая камерная	камерная, с увеличением МКЦ	камерная с зоной смягчения	камерная с опорными целиками	столбовая
1	53,1	10	9,9	4,1	8
2	47	7,3	8,0	5,3	6,4
3	38,7	5,8	6,3	3,2	8,3
4	37	5,2	6	4,2	6
5	36,1	5	5,9	3,7	5,9

• допустимый срок остановки очистного забоя без применения специальных мер — от 25 до 45 дней, в зависимости от участка.

Оценка безопасности подработки ВЗТ

Ключевым показателем безопасности подработки ВЗТ на рассмотренных участках ВКМС будет являться величина максимального наклона на земной поверхности, поскольку второй критерий допустимого прогиба не будет превышен ни в одном из вариантов. Итоговые значения максимального наклона сведены в табл. 7.

По результатам выполненного сравнения величин расчетного значения максимального наклона ($i(z)_{max}$), в соответствии с требованиями «Указаний…», можно отметить следующее:

• при отработке рассмотренных участков существующей камерной системы разработки с оставлением ленточных междукамерных целиков возможно нарушение сплошности ВЗТ на всех рассматриваемых участках;

• все предложенные альтернативные методы обеспечивают сохранность слоев водозащитной толщи до окончания процесса сдвижения.

Заключение

По результатам оценки выбора варианта системы отработки пласта Красный-II, наиболее безопасного с точки зрения сохранения целостности водозащитной толщи на участках со сложными горно-геологическими условиями, можно сделать следующие выводы.

1. Применение существующей камерной системы разработки с оставлением ленточных междукамерных целиков и шириной, определенной в соответствии с требованиями «Указаний…», может привести к нарушению допустимых величин деформаций ВЗТ и, как следствие, к затоплению рудника. Связано это с невозможностью своевременно и с достаточной полнотой заполнения внести закладочный материал вследствие ускоренного разрушения элементов геомеханической системы.

2. Безопасную подработку слоев ВЗТ при сохранении существующей камерной системы разработки обеспечит увеличение ширины междукамерных целиков в 1,5—1,7 раза, скорость их деформации будет соответствовать фактической степени нагружения $C_ф$ = 0,40. При создании зоны смягчения возможна отработка в основной зоне с параметрами, которые обеспечат значение $C_ф$ = 0,50. Извлечение при этом будет наименьшим из всех рассмотренных вариантов. В качестве позитивного аспекта отметим отсутствие необходимости закладки выработок.

3. Камерная система с оставлением опорных целиков минимизирует вероятность затопления рудника при отработке I стадией с податливыми междуходовыми целиками, поскольку не будет сформирована зона полной подработки и деформации ВЗТ будут незначительными даже при отсутствии закладки. При технологической возможности осуществить гидравлическую закладку I стадии со степенью заполнения 0,65—0,75 возможна отработка оставленных опорных целиков II стадией, но не ранее чем через 5 лет. При этом деформации ВЗТ будут наименьшими из всех рассмотренных вариантов, а степень извлечения составит 40—60%.

4. Столбовая система с полной закладкой позволит добиться наибольшего извлечения с соблюдением критериев безопасной подработки ВЗТ. Вдоль постоянной границы выработанного пространства необходимо оставить двухступенчатую зону смягчения, отработанную камерной системой разработки

с ограничением степени нагружения и ограничением конечных оседаний.

Таким образом, применение альтернативных вариантов значительно повышает безопасность подработки ВЗТ, снижая значение максимального наклона при формировании мульды сдвижения со значений 36—53 мм/м до допустимых 3—8 мм/м. При этом извлечение полезного ископаемого повысится на 25—150% в зависимости от участка и выбранной системы разработки. В случае применения рассмотренных вариантов на практике необходим пересмотр параметров системы разработки для конкретных горно-геологических условий, которые могут значительно различаться в пределах одного шахтного поля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Андреичев А. Н.* Разработка калийных и каменно-соляных месторождений. Часть II: Горное давление и закладка выработанных пространств. — М.: Госхимиздат, 1954. — 103 с.

2. *Андреичев А. Н.*, *Нудельман А. Б.* Добыча и переработка калийных солей. — М.: Госхимиздат, 1960. — 452 с.

3. *Андреичев А. Н.* Разработка калийных месторождений. — М.: Недра, 1966. — 255 с.

4. *Шабаров А. Н.*, *Куранов А. Д.* Основные направления развития горнодобывающей отрасли в усложняющихся горнотехнических условиях ведения горных работ // Горный журнал. — 2023. — № 5. — С. 5—10. DOI: 10.17580/gzh.2023.05.01.

5. *Sobczyk E.* Changing geological and mining conditions in hard coal mines in poland as mining activities progress // Aspects in Mining & Mineral Science. 2022, vol. 8, no. 4, pp. 950—954. DOI: 10.31031/AMMS.2022.08.000692.

6. *Meinert L. D., Robinson G. R., Nassar N. T.* Mineral resources: Reserves, peak production and the future // Resources. 2016, vol. 5, no. 1, article 14. DOI: 10.3390/resources5010014.

7. *Borska B.* Exploitation of powered roof support in variable mining and geological conditions // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2023, vol. 1189, no. 1, article 012003. DOI: 10.1088/1755-1315/1189/1/012003.

8. *Рысин А. И.*, *Лебедева А. М.*, *Откупщикова И. А.*, *Нуртдинов А. С.* Закономерности изменения прочностных параметров соляных пород вследствие повышения содержания галопелитов // Горный журнал. — 2025. — № 3. — С. 19—27. DOI: 10.17580/gzh.2025.03.03.

9. *Токсаров В. Н.*, *Костин Я. Р.* Обоснование параметров системы разработки на пятой юго-восточной панели рудника Усольского калийного комбината ООО «ЕвроХим» // Masters Journal. — 2017. — № 2. — С. 56—62.

10. *Кудряшов А. И.* Верхнекамское месторождение солей. — Пермь: ГИ УрО РАН, 2013. — 429 с.

11. *Тенисон Л. О.* Разработка методики определения деформаций земной поверхности при ее многократной подработке: автореферат дис. ... канд. техн. наук. — Пермь: ОАО «Галургия», 2012. — 18 с.

12. *Marakov V. Ye.*, *Tennison L. O.* A Technique of surface strain analysis at the Upper Kama Basin potash deposit ore seams mining with the yielding zones being left / International Society for Mine Surveying, XIII International Congress, Budapest, Hungary, 2007, Report 022, 6 p.

13. *Шевяков Л. Д.* Разработка месторождений полезных ископаемых. — М.: Госгортехиздат, 1963. — 728 с.

14. *Соловьев В. А.*, *Аптуков В. Н.*, *Тарасов В. В.*, *Чернопазов Д. С.*, *Секунцов А. И.*, *Русаков М. И.*, *Пестрикова В. С.* Аспекты повышения эффективности разработки Верхнекамского калийного месторождения. — Новосибирск: Наука, 2019. — 182 с.

15. *Соловьев В. А.*, *Секунцов А. И.* Разработка калийных месторождений: практикум. — Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2013. — 265 с.

16. *Борзаковский Б. А.*, *Папулов Л. М.* Закладочные работы на Верхнекамских калийных рудниках. Справочник. — М.: Недра, 1994. — 234 с.

17. *Бельтюков Н. Л.*, *Черноусов Н. Д.* Расчет параметров междукамерных целиков при двухстадийной отработке сильвинитового пласта // Горное эхо. — 2024. — № 4. — С. 51—58. DOI: 10.7242/echo.2024.4.7.

18. *Бей М. М.*, *Алыменко Д. Н.*, *Сальников А. А.*, *Мараков В. Е.* Патент РФ № 2009142325/03, 17.11.2009. Способ отработки калийных пластов. 2011. Бюл. № 5.

19. *Петровский А. Б.*, *Прушак В. Я.*, *Лугович Е. А.* Особенности проявлений горного давления при слоевой бесцеликовой выемке Третьего калийного пласта на Старобинском месторождении калийных солей // Доклады Национальной академии наук Беларуси. — 2020. — Т. 64. — № 3. — С. 350—360. DOI: 10.29235/1561-8323-2020-64-3-350-360.

20. *Барях А. А.*, *Девятков С. Ю.*, *Денкевич Э. Т.* Математическое моделирование развития процесса сдвижения при отработке калийных руд длинными очистными забоями // Записки Горного института. — 2023. — Т. 259. — С. 13—20. DOI: 10.31897/PMI.2023.11.

21. *Зубов В. П.*, *Сокол Д. Г.* Технологии интенсивной разработки калийных пластов длинными очистными забоями на больших глубинах: актуальные проблемы, направления совершенствования // Записки Горного института. — 2023. — Т. 264. — С. 874—885.

22. *Харченко В. В.*, *Овчинников Н. П.*, *Сулаев В. И.*, *Гайдай А. А.*, *Русских В. В.* Процессы очистных работ на пластах угольных шахт: учебник. — Днепропетровск: НГУ, 2014. — 170 с.

23. *Ковальский Е. Р.*, *Громцев К. В.* Разработка технологии закладки выработанного пространства при выемке // Записки горного института. — 2022. — Т. 254. — С. 202—209. DOI: 10.31897/PMI.2022.36.

24. *Бузило В. И.*, *Кошка А. Г.*, *Сулаев В. И.*, *Яворской А. В.* Технология отработки тонких пластов с закладкой выработанного пространства. — Днепропетровск: НГУ, 2013. — 121 с.

25. *Шваб Р. Г.*, *Дешковский В. Н.* Управление состоянием подрабатываемого массива горных пород частичной закладкой выработанного пространства в виде бутовых полос из разрушенного галита при извлечении запасов калийных руд столбовой системой разработки // Недропользование. — 2009. — № 4. — С. 20—27. ГИАБ

REFERENCES

1. Andreichev A. N. *Razrabotka kaliynykh i kamenno-solyanykh mestorozhdeniy. Chast' II: Gornoe davlenie i zakladka vyrabotannykh prostranstv* [Development of potash and rock-salt deposits. Part II: Rock pressure and backfilling of mined-out spaces], Moscow, Goskhimizdat, 1954, 103 p.

2. Andreichev A. N., Nudel'man A. B. *Dobycha i pererabotka kaliynykh soley* [Extraction and processing of potash salts], Moscow, Goskhimizdat, 1960, 452 p.

3. Andreichev A. N. *Razrabotka kaliynykh mestorozhdeniy* [Development of potash deposits], Moscow, Nedra, 1966, 255 p.

4. Shabarov A. N., Kuranov A. D. Basic development trends in mining sector in complicating geotechnical conditions. *Gornyi Zhurnal*. 2023, no. 5, pp. 5—10. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2023.05.01.

5. Sobczyk E. Changing geological and mining conditions in hard coal mines in poland as mining activities progress. *Aspects in Mining & Mineral Science*. 2022, vol. 8, no. 4, pp. 950—954. DOI: 10.31031/AMMS.2022.08.000692.

6. Meinert L. D., Robinson G. R., Nassar N. T. Mineral resources: Reserves, peak production and the future. *Resources*. 2016, vol. 5, no. 1, article 14. DOI: 10.3390/resources5010014.

7. Borska B. Exploitation of powered roof support in variable mining and geological conditions. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. 2023, vol. 1189, no. 1, article 012003. DOI: 10.1088/1755-1315/1189/1/012003.

8. Rysin A. I., Lebedeva A. M., Otkupshchikova I. A., Nurtdinov A. S. Strength variation patterns in salt rocks owing to increased halopelite content. *Gornyi Zhurnal*. 2025, no. 3, pp. 19—27. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2025.03.03.

9. Toksarov V. N., Kostin Ya. R. Justification of parameters of mining method for the 5th southeastern extraction panel of the Usolsk potash plant of LLC «EuroChem». *Masters Journal.* 2017, no. 2, pp. 56—62. [In Russ].

10. Kudryashov A. I. *Verkhnekamskoe mestorozhdenie soley* [Verkhnekamsk salt deposit], Perm, 2013, 429 p.

11. Tenison L. O. *Razrabotka metodiki opredeleniya deformatsiy zemnoy poverkhnosti pri ee mnogokratnoy podrabotke* [Development of a methodology for determining earth's surface deformations during its repeated undermining], Candidate's thesis, Perm, 2012, 18 p.

12. Marakov V. Ye., Tennison L. O. A Technique of surface strain analysis at the Upper Kama Basin potash deposit ore seams mining with the yielding zones being left. *International Society for Mine Surveying, XIII International Congress*, Budapest, Hungary, 2007, Report 022, 6 p.

13. Shevyakov L. D. *Razrabotka mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh* [Mineral deposit development], Moscow, Gosgortekhizdat, 1963, 728 p.

14. Solov'ev V. A., Aptukov V. N., Tarasov V. V., Chernopazov D. S., Sekuntsov A. I., Rusakov M. I., Pestrikova V. S. *Aspekty povysheniya effektivnosti razrabotki Verkhnekamskogo kaliynogo mestorozhdeniya* [Aspects of improving the efficiency of development of the Verkhnekamsk potash deposit], Novosibirsk, Nauka, 2019, 182 p.

15. Solov'ev V. A., Sekuntsov A. I. *Razrabotka kaliynykh mestorozhdeniy: praktikum* [Development of potash deposits: practical training], Perm, 2013, 265 p.

16. Borzakovskiy B. A., Papulov L. M. *Zakladochnye raboty na Verkhnekamskikh kaliynykh rudnikakh*. Spravochnik [Backfill at the Verkhnekamsk potash mines. Handbook], Moscow, Nedra, 1994, 234 p.

17. Beltyukov N. L., Chernousov N. D. Calculation of parameters of inter-chamber pillars during two-stage development of a sylvinite seam. *Gornoe ekho*. 2024, no. 4, pp. 51—58. [In Russ]. DOI: 10.7242/echo.2024.4.7.

18. Bey M. M., Alymenko D. N., Sal'nikov A. A., Marakov V. E. *Patent RU 2009142325/03*, 17.11.2009. [In Russ].

19. Petrovsky A. B., Prushak V. Ya., Lugovich E. A. Features of rock pressure manifestations during layered coreless mining of the Third potash seam at the Starobinskoye potassium salt deposit. *Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*. 2020, vol. 64, no. 3, pp. 350—360. [In Russ]. DOI: 10.29235/1561-8323-2020-64-3-350-360.

20. Baryakh A. A., Devyatkov S. Yu., Denkevich E. T. Mathematical modelling of displacement during the potash ores mining by longwall faces. *Journal of Mining Institute*. 2023, vol. 259, pp. 13—20. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2023.11.

21. Zubov V. P., Sokol D. G. Technologies of intensive development of potash seams by longwall faces at great depths: current problems, areas of improvement. *Journal of Mining Institute*. 2023, vol. 264, pp. 874—885. [In Russ].

22. Kharchenko V. V., Ovchinnikov N. P., Sulaev V. I., Gayday A. A., Russkikh V. V. *Protsessy ochistnykh rabot na plastakh ugol'nykh shakht*: uchebnik [Processes of second works on coal mine seams: textbook], Dnepropetrovsk, 2014, 170 p.

23. Kovalskii E. R., Gromtsev K. V. Development of the technology of stowing the developed space during mining. *Journal of Mining Institute*. 2022, vol. 254, pp. 202—209. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2022.36.

24. Buzilo V. I., Koshka A. G., Sulaev V. I., Yavorskoy A. V. T*ekhnologiya otrabotki tonkikh plastov s zakladkoy vyrabotannogo prostranstva* [Technology of development of thin seams with backfilling of mined-out space], Dnepropetrovsk, 2013, 121 p.

25. Shvab R. G., Deshkovsky V. N. Management of the state of the undermining rock massif by partial backfilling of the mined-out space in the form of rubble strips from destroyed halite during the extraction of potash ore reserves by the pillar mining system. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*. 2009, no. 4, pp. 20—27. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Беспалов Виталий Сергеевич — ведущий инженер, ПАО «Уралкалий»;
преподаватель, Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Березниковский филиал,
e-mail: Bespalov.VS@yandex.ru, ORCID ID: 0009-0006-9129-0649.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

V.S. Bespalov, Leading Engineer, PJSC «Uralkali», 618426, Berezniki, Russia;
Lecturer, Perm National Research Polytechnic University, Berezniki Branch,
618404, Berezniki, Russia, e-mail: Bespalov.VS@yandex.ru,
ORCID ID: 0009-0006-9129-0649.

Получена редакцией 18.12.2025; получена после рецензии 12.01.2026; принята к печати 19.01.2026.
Received by the editors 18.12.2025; received after the review 12.01.2026; accepted for printing 19.01.2026.