

УДК 553.63

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОГО ВЕСА ПОРОД, ПЕРЕКРЫВАЮЩИХ ПРОМЫШЛЕННУЮ ТОЛЩУ ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СОЛЕЙ



Д. С. ЧЕРНОПАЗОВ,
заведующий лабораторией геомеханики,
канд. техн. наук,
Dmitriy.Chernopazov@uralkali.com



Д. Н. ШКУРАТСКИЙ,
генеральный директор, канд. техн. наук



А. И. СЕКУНЦОВ,
старший научный сотрудник, канд. техн. наук

АО «ВНИИ Галургии», Пермь, Россия

Введение

Подземный способ добычи полезных ископаемых основывается на выборе системы разработки, обеспечивающей безопасные условия ведения горных работ [1–3]. К основной сложности реализации подземного способа освоения запасов месторождений соляных пород относится легкая растворимость последних. В связи с этим при обосновании системы подземной разработки соляных пород и определении ее параметров следует исходить из условия обеспечения сохранности перекрывающих пород, слагающих водозащитную толщу, с целью защиты рудника от затопления [4–6].

Отработку запасов Верхнекамского месторождения солей (ВКМС) ведут по камерной системе разработки с оставлением жестких междукамерных ленточных целиков и закладкой очистных камер.

Оценка несущей способности междукамерных целиков

Требуемую жесткость междукамерных целиков с целью исключения разрушения пород водозащитной толщи обеспечивают на основе оценки их параметров, которые определяют, исходя из несущей способности целиков и действующей на

Выполнен анализ геологических условий залегания пород надсоляной толщи Верхнекамского месторождения солей с целью определения зависимостей распределения различных геологических разностей, формирующих горное давление на уровне промышленных пластов.

С учетом выявленных особенностей геологического строения оценен удельный вес перекрывающих пород.

Результаты исследований приведены в виде площадного распределения величины удельного веса пород подрабатываемой толщи в пределах Верхнекамского месторождения солей.

Ключевые слова: Верхнекамское месторождение солей, надсоляная толща, горное давление, удельный вес пород, плотность пород, подземный способ добычи, параметры системы разработки.

DOI: 10.17580/gzh.2021.04.05

них нагрузки по критерию степени нагружения междукамерных целиков [7]:

$$C = \frac{\xi \gamma H_0}{bk_f \sigma_{от}}$$

где ξ – коэффициент, учитывающий изменение нагрузки на междукамерные целики вследствие влияния горнотехнических факторов; γ – удельный вес налегающей толщи пород, Н/м³; H_0 – максимальное значение расстояния от земной поверхности до кровли отрабатываемого пласта на рассматриваемом участке шахтного поля, м; l – межосевое расстояние, м; b – расчетная ширина междукамерных целиков, м; k_f – коэффициент формы междукамерного целика; $\sigma_{от}$ – прочность пород в массиве в пределах расчетной высоты междукамерных целиков m , МПа, определяемая по формуле [7]

$$\sigma_{от} = k_0 \sigma_0,$$

где k_0 – коэффициент, учитывающий влияние горнотехнических факторов; σ_0 – эквивалентная (приведенная) прочность пород, слагающих междукамерные целики, МПа.

Эквивалентная прочность пород, слагающих междукамерные целики в пределах их расчетной высоты m , определяется по формуле

$$\sigma_0 = \frac{m}{\sum_{i=1}^n \frac{m_i}{\sigma_{ci}}},$$

где m_i – мощность i -го слоя породы ($i = 1, 2 \dots n$), м; n – число слоев разнопрочных пород, слагающих междукамерные целики в пределах их расчетной высоты; σ_{ci} – расчетная прочность при сжатии стандартных образцов i -го слоя породы, МПа.

Несущую способность целиков оценивают по данным испытаний физико-механических свойств пород.

Условия формирования естественного горного давления в массиве горных пород до начала ведения горных работ на единицу выделенного элементарного объема определяются значениями нормальных напряжений $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ (рис. 1) [8].

Естественное напряженное состояние массива горных пород формируется главным образом силами гравитации и зависит от горно-геологических условий залегания пород обрабатываемой толщи и гипсометрии отрабатываемых пластов.

Для пластичных горных пород, согласно гипотезе А. Гейма, распределение природных (естественных) напряжений в породном массиве является гидростатическим [9].

Гравитационная составляющая горного давления при горизонтальном напластовании различных горных пород изменяется по глубине, т. е. $\gamma = \gamma(z)$. Вертикальная составляющая естественных напряжений может быть определена как

$$\sigma_z = \int_0^H \gamma(z) dz,$$

где H – глубина рассматриваемой точки массива, м; γ – удельный вес пород, 10^4 Н/м^3 .

Таким образом, в упрощенном виде действующая на разрабатываемую породную толщу нагрузка определяется исходя из условия $\sigma_z = \gamma H$.

При этом зачастую величину удельного веса пород принимают усредненно равной $\gamma = 2,2 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3$ [7, 10]. Данная величина была определена ранее в процессе исследований [11], которые проводили в условиях меньшей степени изученности месторождения (главным образом, на первых введенных в строй рудниках – Соликамском и Березниковском участках ВКМС).

Анализ плотностных характеристик пород по геологоразведочным скважинам

Следует отметить, что первоочередное освоение ВКМС осуществляли в наиболее благоприятных горно-геологических условиях, характеризующихся небольшими глубинами залегания пластов и большими их мощностями, а также низким содержанием нерастворимого остатка, который главным образом определяет прочность вмещающих пород и, следовательно, устойчивость выработок.

В настоящее время происходит активное вовлечение в разработку новых площадей месторождения, характеризующихся увеличением глубины залегания промышленных пластов. Возникает необходимость более детального учета факторов, определяющих безопасное ведение горных работ. Поставленная задача может быть решена как путем уточнения действующих инженерных подходов [7], так и использования средств математического моделирования [5, 6, 12, 13].

Анализ более современных данных, полученных по результатам бурения детальных геологоразведочных и контрольно-стволовых скважин в различных частях Верхнекамского месторождения, демонстрирует существенную неоднородность удельного веса породных слоев как по разрезу скважин, так и в зависимости от их расположения и находится в диапазоне $(1,44 \div 3,51) \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3$, в среднем составляя $2,35 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3$. В табл. 1 приведены средние значения удельного веса пород по данным геологических

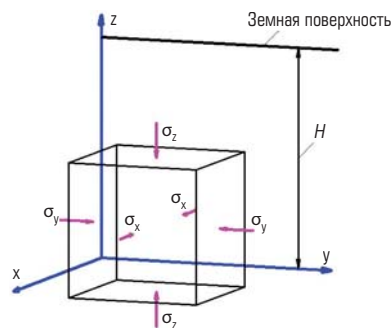


Рис. 1. Схема к определению главных нормальных напряжений в массиве горных пород

исследований плотности пород надсоляной толщи в границах ВКМС.

Результаты анализа условий распределения пород, перекрывающих промышленные сильвинитовые пласты ВКМС [14], показывают их значительную неоднородность. С учетом сложного геологического залегания породной толщи была поставлена задача по оценке распределения удельного веса пород перекрывающей промышленные пласты толщи в границах средней и южной частей ВКМС, на площадях которых ведут освоение запасов месторождения.

Решение поставленной задачи основывалось на использовании полученных средних значений удельного веса пород в границах ВКМС.

Для этого по данным колонок геологоразведочных скважин выполнена оценка удельного веса путем использования осредненных данных, представленных в табл. 1 для геологоразведочных скважин, по которым отсутствуют данные об удельном весе опробованных пород. Средневзвешенные значения удельного веса пород (Н/м^3) можно определить из выражения

$$\gamma = \frac{\sum_{i=1}^n \gamma_i m_i}{H_{AB}},$$

где n – число учитываемых породных слоев до кровли пласта АБ; γ_i – удельный вес i -го породного слоя, Н/м^3 ; m_i – мощность i -го породного слоя, м; H_{AB} – глубина залегания кровли пласта АБ, м.

На основе полученных данных выполнена оценка площадного распределения удельного веса пород над верхним промышленным сильвинитовым пластом АБ путем площадной интерполяции данных расчета среднего удельного веса пород, определенных для геологоразведочных скважин. Полученные результаты интерпретации представлены на рис. 2 и 3.

В результате выполненных исследований подтверждены ранее полученные представления об удельном весе вышележащих пород. Так, для условий Соликамского и Березниковского участков ВКМС удельный вес этих пород составляет $(2,15 \div 2,3) \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3$.

Однако в целом по месторождению выявлено неоднородное изменение значений удельного веса. Так, за пределами Соликамского, Березниковского, Боровского и северной части Половодовского участков ВКМС удельный вес в основном превышает значение $2,2 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3$.

Таблица 1. Данные исследований по определению удельного веса пород подрабатываемой толщи

Породная толща	Порода	Среднее значение удельного веса пород, 10^4 Н/м^3	Породная толща	Порода	Среднее значение удельного веса пород, 10^4 Н/м^3	
Четвертичные отложения Q	Дресва, глина	1,74	Соляно-мергельная толща (СМТ)	Глины и мергели	2,55	
	Дресва, аргиллит, суглинок	1,64		Мергель	2,41	
	Суглинок	2,21		Песчаник	2,30	
	Суглинок	2,00		Ангидрит с мергелем	2,60	
	Супесь (песчаник)	2,20		Алевролит	2,75	
	Глина с гравием	2,21		Гипс	2,28	
	Щебень и дресва	2,45		Глинисто-гипсовая порода	2,39	
	Глина	2,60		Мергель доломитизированный	2,34	
Пестроцветная толща (ПЦТ)	Песчаник	2,47		Мергель-гипсовая порода	2,24	
	Аргиллит	2,48		Мергель глинистый	2,23	
	Алевролит	2,44		Известняк	2,52	
	Конгломерат	2,61		Ангидрит	2,52	
	Песчаник известковистый	2,49		Доломитовая порода	1,49	
	Известняк	2,55		Конгломерат	2,24	
Терригенно-карбонатная толща (ТКТ)	Мергель	2,50		Песчаник известковистый	2,56	
	Известняк	2,52		Известняк загипсованный	2,30	
	Глина	2,41		Каменная соль	2,19	
	Песчаник	2,47		Брекчиевая порода	2,28	
	Аргиллит	2,55		Известняк окремененный	2,33	
	Алевролит	2,55		Мергель кавернозный	2,27	
	Доломит	2,75		Мергель глинистый алевролитистый	2,38	
	Известняк окремененный	2,65		Мергель глинистый известково-доломитовый	2,14	
	Известняк с мергелем	2,31		Брекчия	2,05	
	Известняк доломитизированный	2,47		Мергель с прослоями гипса и доломита	2,25	
	Известняк глинистый	2,58		Переходная пачка (ПП)	Мергель	1,95
	Известняк с гипсом	2,53			Каменная соль	2,17
	Гипс	2,75			Карбонатно-сульфатная порода	1,88
	Мергель-гипсовая порода	2,53		Покровная каменная соль (ПКС)	Мергель глинистый	2,17
	Гравелит	2,52	Каменная соль		2,14	
	Суглинок	2,09	Сильвинито-карналлитовая зона (СКЗ)	Карналлит	1,66	
	Песчаник известковистый	2,49		Каменная соль	2,21	
	Алевролит известковистый	2,53		Сильвинит пестрый	2,15	
				Галит-карналлитовая порода	1,50	
				Сильвинит гипергенный	2,07	

В результате выполненных исследований установлено, что в средней части ВКМС (см. рис. 2) на 56 % площади участков удельный вес пород налегающей толщи составляет $(2,08 \div 2,3) \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3$ с увеличением в восточной части Половодовского – $(2,3 \div 2,47) \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3$ и южной части Ново-Соликамского – $(2,3 \div 2,44) \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3$ участков.

В южной части ВКМС (см. рис. 3) наименьшие значения $(2,14 \div 2,3) \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3$ удельного веса пород отмечены на 14 % площади участков в контуре Березниковского, западной части Быгельско-Троицкого и центральной части Усть-Яйвинского участков. На остальной площади южной части месторождения удельный вес подрабатываемой толщи пород возрастает в южном и восточном направлениях до значения $2,45 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3$.

Полученное распределение удельного веса пород в условиях ВКМС позволяет более корректно оценивать степень нагружения междукамерных целиков.

Так, установлено, что степень нагружения междукамерных целиков линейно зависит от удельного веса пород подрабатываемой толщи. Это позволяет определить влияние данного параметра на характеристики системы разработки в части оценки изменения ширины междукамерных целиков при заданной степени нагружения и изменения степени нагружения при фиксированных параметрах системы разработки.

В табл. 2 приведены параметры системы разработки, определенные согласно нормативным требованиям [7]. Степень нагружения целиков рассчитана для значений γ в диапазоне $(2 \div 2,6) \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3$

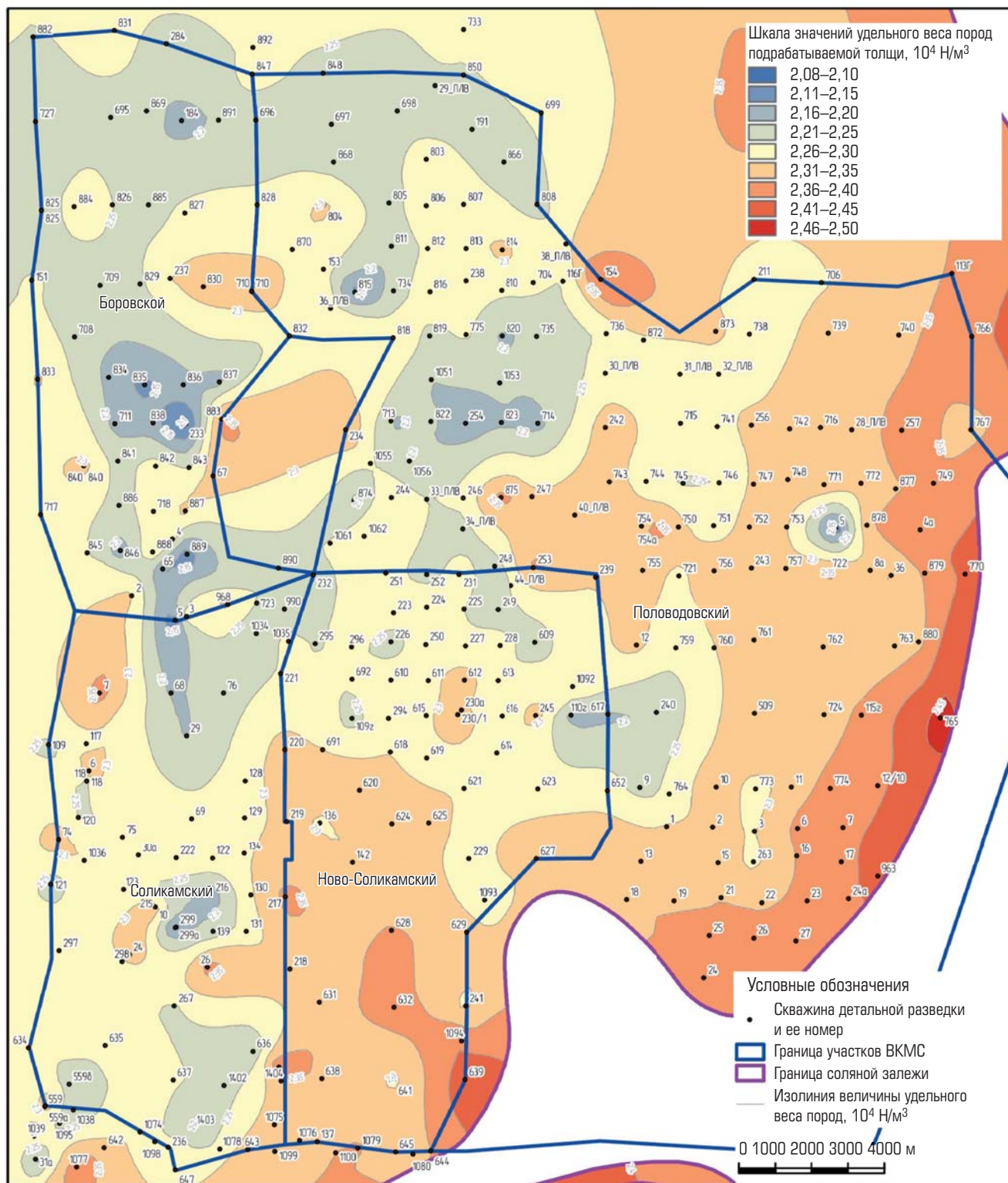


Рис. 2. Изобласти распределения удельного веса подрабатываемой толщи пород в средней части ВКМС

при фиксированных параметрах системы разработки (ширине и высоте междукammerных целиков). По результатам выполненных расчетов установлено, что степень нагружения целиков по пласту K_{pl} , отработка которого на Верхнекамском месторождении является приоритетной в силу большей мощности пласта, при повышенном

значении γ превышает допустимое значение [7]. Это обуславливает риск низкой устойчивости таких целиков, что противоречит безопасным условиям подработки водозащитной толщи.

Количественная оценка зависимости изменения удельного веса подрабатываемой толщи пород на величину извлечения

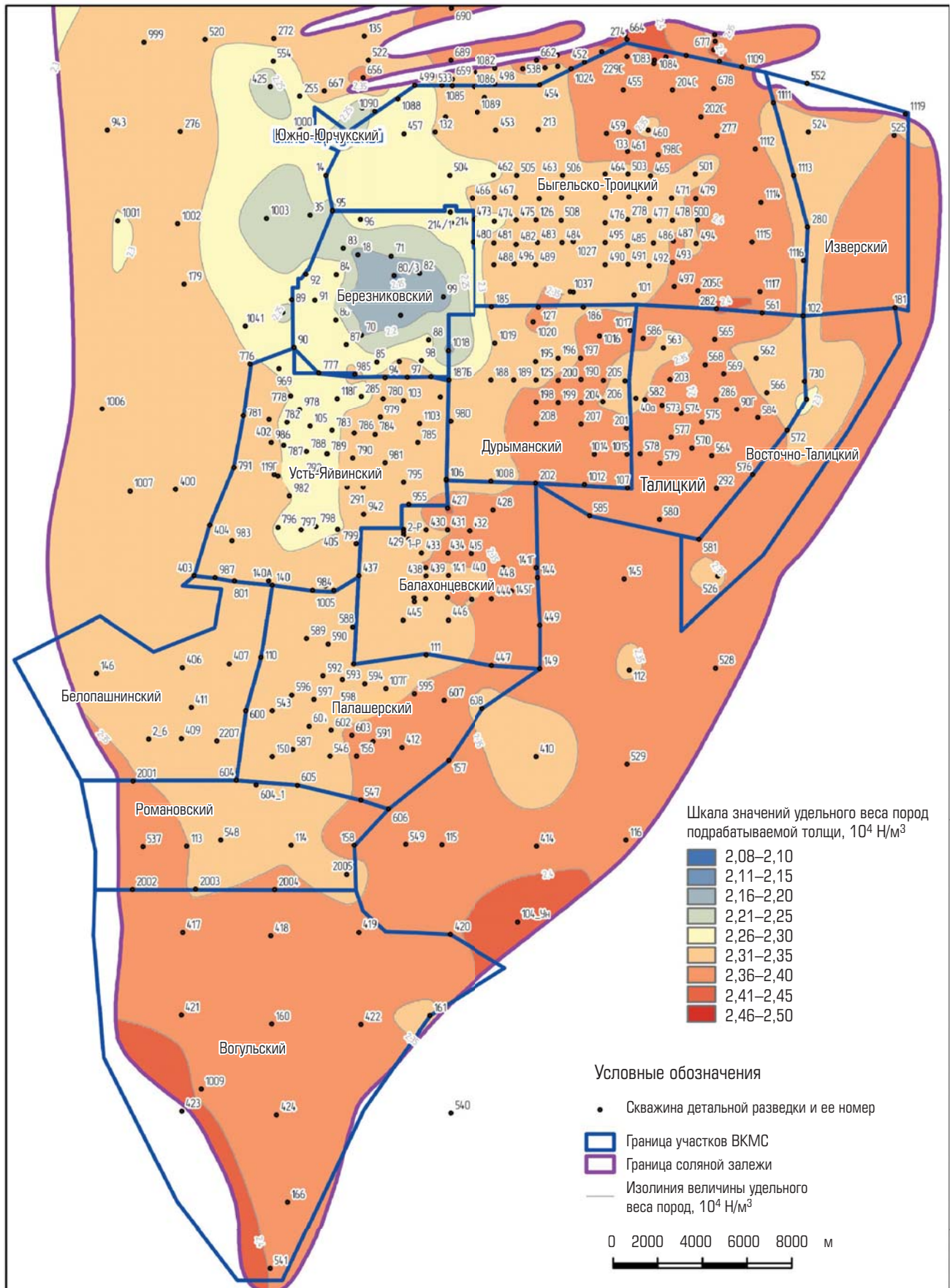


Рис. 3. Изообласти распределения удельного веса подрабатываемой толщи пород в южной части ВКМС

Таблица 2. Параметры системы разработки и степень нагружения междукамерных целиков при изменении удельного веса пород подрабатываемой толщи

Пласт	Ширина камеры a_0 , м	Ширина междукамерного целика b_0 , м	Вынимаемая мощность m_0 , м	Удельный вес подрабатываемой толщи пород γ , 10^4 Н/м ³	Глубина кровли пласта H , м	Эквивалентная прочность пород σ_0 , МПа	Прочность пород σ_{0m} , МПа	Степень нагружения междукамерного целика C	Допустимая степень нагружения междукамерного целика $[C]$	Степень заполнения камер закладочным материалом A
АБ	3,2	8,3	3,20	2,00	350	1892	4338	0,188	0,40	0,75
КрII	5,5	6	5,34	2,00	358	2050	3372	0,361	0,40	0,75
АБ	3,2	8,3	3,20	2,10	350	1892	4338	0,197	0,40	0,75
КрII	5,5	6	5,34	2,10	358	2050	3372	0,379	0,40	0,75
АБ	3,2	8,3	3,20	2,20	350	1892	4338	0,206	0,40	0,75
КрII	5,5	6	5,34	2,20	358	2050	3372	0,397	0,40	0,75
АБ	3,2	8,3	3,20	2,30	350	1892	4338	0,216	0,40	0,75
КрII	5,5	6	5,34	2,30	358	2050	3372	0,415	0,40	0,75
АБ	3,2	8,3	3,20	2,40	350	1892	4338	0,225	0,40	0,75
КрII	5,5	6	5,34	2,40	358	2050	3372	0,433	0,40	0,75
АБ	3,2	8,3	3,20	2,50	350	1892	4338	0,235	0,40	0,75
КрII	5,5	6	5,34	2,50	358	2050	3372	0,451	0,40	0,75
АБ	3,2	8,3	3,20	2,60	350	1892	4338	0,244	0,40	0,75
КрII	5,5	6	5,34	2,60	358	2050	3372	0,469	0,40	0,75

Таблица 3. Параметры системы разработки в зависимости от удельного веса пород подрабатываемой толщи, удовлетворяющие нормативным требованиям [4]

Пласт	Ширина камеры a_0 , м	Ширина междукамерного целика b_0 , м	Вынимаемая мощность m_0 , м	Удельный вес пород подрабатываемой толщи γ , 10^4 Н/м ³	Глубина кровли пласта H , м	Эквивалентная прочность пород σ_0 , МПа	Прочность пород σ_{0m} , МПа	Степень нагружения междукамерного целика C	Допустимая степень нагружения междукамерного целика $[C]$	Степень заполнения камер закладочным материалом A	Степень извлечения полезного ископаемого ω
АБ	3,2	7,9	3,20	2,00	350,0	1892	4195	0,199	0,40	0,75	0,288
КрII	5,5	5,6	5,34	2,00	358,0	2050	3255	0,394	0,40	0,75	0,495
АБ	3,2	8,1	3,20	2,10	350,0	1892	4267	0,203	0,40	0,75	0,283
КрII	5,5	5,8	5,34	2,10	358,0	2050	3314	0,396	0,40	0,75	0,487
АБ	3,2	8,3	3,20	2,20	350,0	1892	4338	0,206	0,40	0,75	0,278
КрII	5,5	6	5,34	2,20	358,0	2050	3372	0,397	0,40	0,75	0,478
АБ	3,2	8,5	3,20	2,30	350,0	1892	4410	0,210	0,40	0,75	0,274
КрII	5,5	6,2	5,34	2,30	358,0	2050	3431	0,398	0,40	0,75	0,470
АБ	3,2	8,7	3,20	2,40	350,0	1892	4482	0,213	0,40	0,75	0,269
КрII	5,5	6,4	5,34	2,40	358,0	2050	3489	0,399	0,40	0,75	0,462
АБ	3,2	8,9	3,20	2,50	350,0	1892	4554	0,216	0,40	0,75	0,264
КрII	5,5	6,6	5,34	2,50	358,0	2050	3548	0,400	0,40	0,75	0,455
АБ	3,2	9,2	3,20	2,60	350,0	1892	4662	0,216	0,40	0,75	0,258
КрII	5,5	6,9	5,34	2,60	358,0	2050	3636	0,393	0,40	0,75	0,444

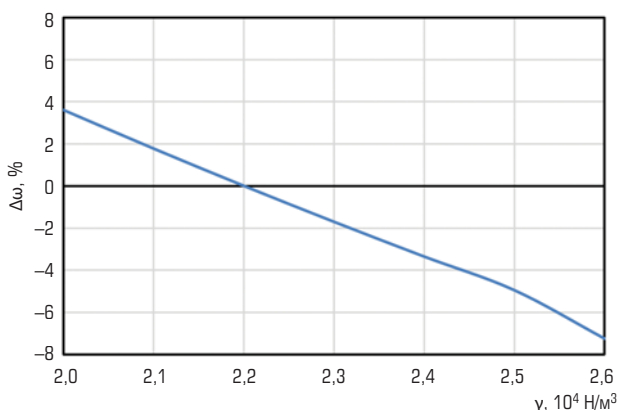


Рис. 4. Зависимость изменения степени извлечения полезного ископаемого от удельного веса пород подрабатываемой толщи

полезного ископаемого при заданной степени нагружения междукамерных целиков согласно нормативным требованиям [7] показала (табл. 3), что при увеличении γ от $2 \cdot 10^4$ Н/м³ до $2,6 \cdot 10^4$ Н/м³ необходимое извлечение ценного компонента из отработываемых пластов требует увеличения ширины целиков на 1 м, что приводит к снижению ценности сырья на 10,9 % (рис. 4).

Заключение


В рамках выполненных исследований проанализированы условия залегания надсоляной толщи пород в пределах ВКМС и проведена оценка распределения удельного веса пород по данным геолого-геофизического опробования на площади центральной и южной частей ВКМС.

В результате выполненных исследований установлено, что удельный вес вышележащих пород составляет $(2,08 \div 2,5) \cdot 10^4$ Н/м³. При этом результаты выполненных исследований

показывают рост удельного веса пород налегающей толщи в восточном и южном направлениях в границах ВКМС, что обуславливает снижение устойчивости горных выработок, характерное для южной части месторождения.

В целом по результатам исследований установлено, что удельный вес вышележащих пород, равный или меньший $2,2 \cdot 10^4$ Н/м³, характерен для менее чем 5 % площади исследуемой части месторождения.

Библиографический список

1. Трофимов А. В., Румянцев А. Е., Господариков А. П., Киркин А. П. Неразрушающий ультразвуковой метод контроля прочности закладочного бетона на глубоких рудниках Талнаха // Цветные металлы. 2020. № 12. С. 28–33. DOI: 10.17580/tsm.2020.12.04
2. Кравцова О. А., Максимов В. И., Лебедева А. А., Коптев К. В. Опыт геолого-технологического картирования руд на примере Ждановского месторождения (Кольский полуостров) // Цветные металлы. 2020. № 12. С. DOI: 10.17580/tsm.2020.12.06
3. Трофимов А. В., Киркин А. П., Румянцев А. Е., Яваров А. В. Применение численного моделирования для определения оптимальных параметров метода полной разгрузки керна при оценке напряженно-деформированного состояния массива горных пород // Цветные металлы. 2020. № 12. С. 22–27. DOI: 10.17580/tsm.2020.12.03
4. Poborska-Młynarska K. Katastrofy wodne w górnictwie solnym na świecie – przyczyny, sposoby zwalczania, skutki // Przegląd Górniczy. 2018. Vol. 74. No. 6. P. 33–41.
5. Minkley W., Mühlbauer J., Lüdeling C. Dimensioning Principles in Potash and Salt: Stability and Integrity // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2016. Vol. 49. Iss. 11. P. 4537–4555.
6. Барях А. А., Губанова Е. А. О мерах охраны калийных рудников от затопления // Записки Горного института. 2019. Т. 240. С. 613–621.
7. Указания по защите рудников от затопления и охране подрабатываемых объектов в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей (технологический регламент). – СПб.: ВНИИГ, 2008. – 95 с.
8. Баклашов И. В. Геомеханика : учебник : в 2 т. – М. : Изд-во МГГУ, 2004. – 457 с.
9. Макаров А. Б. Практическая геомеханика. Пособие для горных инженеров. – М. : Горная книга, 2006. – 391 с.
10. Völkner E., Liu W., Kühnlenz T., Hammer J., Fahland S. et al. Geological and constitutive models of generic bedded salt repositories for high-level radioactive waste in Germany // The Mechanical Behavior of Salt IX : Proceedings of the 9th Conference on the Mechanical Behavior of Salt. – Hannover, 2018.
11. Указания по охране зданий, сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок и охране рудников от затопления в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей. – Л. : ВНИИГ, 1985.
12. Vriens B., Seigneur N., Mayer K. U., Beckie R. D. Scale dependence of effective geochemical rates in weathering mine waste rock // Journal of Contaminant Hydrology. 2020. Vol. 234. DOI: 10.1016/j.jconhyd.2020.103699
13. Wang G., Hou Z., Liao J., Liu J. The experimental study of the short- and long-term strength of Chinese highly impure rock salt // The Mechanical Behavior of Salt IX : Proceedings of the 9th Conference on the Mechanical Behavior of Salt. – Hannover, 2018.
14. Милютин А. Г. Геология полезных ископаемых : учебник и практикум. – М. : Юрайт, 2018. – 197 с. 

«GORNYI ZHURNAL», 2021, № 4, pp. 39–45
DOI: 10.17580/gzh.2021.04.05

Unit weight patterns of overlying rocks above commercial-value salt strata in the Upper Kama deposit

Information about authors

D. S. Chernopazov¹, Head of Laboratory of geomechanics, Candidate of Engineering Sciences, Dmitry.Chernopazov@uralkali.com

D. N. Shkuratskiy¹, CEO, Candidate of Engineering Sciences

A. I. Sekuntsov¹, Senior Researcher, Candidate of Engineering Sciences

¹Geomechanics Research Laboratory, VNI Galurgii, Perm, Russia

Abstract

Overburden pressure in commercial-value salt beds in the Upper Kama deposit governs the geotechnical conditions of underground mining operations.

Generally, the overburden pressure is determined by the gravitational effect of the overlying rocks. Therefore, the overburden pressure is mainly evaluated based on the unit weight of the overlying rocks. In this respect, the effective engineering estimate of the overburden pressure can use the averaged value of the unit weight of the overlying rocks.

This study is aimed to obtain patterns of unit weight of the overlying rocks within the limits of the Upper Kama Potash Salt Deposit.

The authors have analyzed the geological conditions of bedding above the rock salt strata in order to obtain the patterns of geological varieties which govern the overburden pressure in the commercial-value salt beds.

Using the revealed geological structure features, the unit weight of the overlying rocks is analyzed.

The research findings are presented as the unit weight per unit area of the overlying rocks in the Upper Kama deposit.

Keywords: Upper Kama Potash Salt Deposit, over-salt strata, overburden pressure, unit weight of rocks, rock density, underground mining method, mining parameters.

References

1. Trofimov A. V., Romyantsev A. E., Gospodarikov A. P., Kirkin A. P. Non-destructive ultrasonic method of testing the strength of backfill concrete at deep Talnakh mines. *Tsvetnye Metally*. 2020. No. 12. pp. 28–33. DOI: 10.17580/tsm.2020.12.04
2. Kravtsova O. A., Maksimov V. I., Lebedeva A. A., Koptev K. V. The practice of geological mapping of the Zhdanov deposit ores in the Kola peninsula. *Tsvetnye Metally*. 2020. No. 12. pp. DOI: 10.17580/tsm.2020.12.06
3. Trofimov A. V., Kirkin A. P., Romyantsev A. E., Yavarov A. V. Use of numerical modelling to determine optimum overcoring parameters in rock stress-strain state analysis. *Tsvetnye Metally*. 2020. No. 12. pp. 22–27. DOI: 10.17580/tsm.2020.12.03
4. Poborska-Młynarska K. Katastrofy wodne w górnictwie solnym na świecie – przyczyny, sposoby zwalczania, skutki. *Przegląd Górniczy*. 2018. Vol. 74, No. 6. pp. 33–41.
5. Minkley W., Mühlbauer J., Lüdeling C. Dimensioning Principles in Potash and Salt: Stability and Integrity. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2016. Vol. 49, Iss. 11. pp. 4537–4555.
6. Baryakh A. A., Gubanova E. A. On flood protection measures for potash mines. *Journal of Mining Institute*. 2019. Vol. 240. pp. 613–621.
7. Guidelines for Mine Flooding Safety and Undermined Object Protection in the Upper Kama Potash Salt Deposit (Technical Regulations). Saint-Petersburg : VNIIG, 2008. 95 p.
8. Baklashov I. V. Geomechanics : tutorial : in two volumes. Moscow : Izdatelstvo MGGU, 2004. 457 p.
9. Makarov A. B. Practical geomechanics : tutorial for mining engineers. Moscow : Gornaya kniga, 2006. 391 p.
10. Völkner E., Liu W., Kühnlenz T., Hammer J., Fahland S. et al. Geological and constitutive models of generic bedded salt repositories for high-level radioactive waste in Germany. *The Mechanical Behavior of Salt IX : Proceedings of the 9th Conference on the Mechanical Behavior of Salt*. Hannover, 2018.
11. Guidelines for Underground Mining Impact Protection of Buildings, Structures and Natural Objects for Mine Flooding Safety in the Upper Kama Potash Salt Deposit. Leningrad : VNIIG, 1985.
12. Vriens B., Seigneur N., Mayer K. U., Beckie R. D. Scale dependence of effective geochemical rates in weathering mine waste rock. *Journal of Contaminant Hydrology*. 2020. Vol. 234. DOI: 10.1016/j.jconhyd.2020.103699
13. Wang G., Hou Z., Liao J., Liu J. The experimental study of the short- and long-term strength of Chinese highly impure rock salt. *The Mechanical Behavior of Salt IX : Proceedings of the 9th Conference on the Mechanical Behavior of Salt*. Hannover, 2018.
14. Milyutin A. G. Geology of mineral resources: Textbook and laboratory course. Moscow : Yurayt, 2018. 197 p.