

УДК 550.834

А.И. Никифорова, И.А. Санфиров, М. М. Калашникова

РЕГИОНАЛЬНАЯ ОЦЕНКА СЛОЖНОСТИ СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ШАХТНЫХ ПОЛЕЙ ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ*

Исследованиями установлено, что одной из вероятных причин формирования «нарушенных» зон является влияние нижележащих рифовых массивов. Выполнен анализ влияния рифогенных структур на особенности строения калийной залежи для Верхнекамского месторождения. Формирование ослабленных зон в соляной толще установлено прямыми (бурение скважин, опробование) и дистанционными (сейсморазведочные работы, газогеохимическое опробование) исследованиями. Обоснована возможность наличия подобных участков методами математического моделирования. Выполнена комплексная региональная оценка строения шахтных полей, территориально совмещенных с рифогенными массивами.

Ключевые слова: Верхнекамское месторождение калийных и магниевых солей, риф, фация, литология, сейсморазведка, газопроявления, математическое моделирование, негативные изменения.

Горно-геологические условия отработки месторождений минеральных солей определяются и контролируются целым рядом факторов. Аномальные особенности строения галогенных формаций создают серьезные проблемы на этапе эксплуатации и заслуживают особого внимания, т.к. их недоучет осложняет ведение горных работ и может привести к возникновению аварийных ситуаций.

Наиболее известные геологические осложнения эвапоритовых интервалов разреза, повлекшие катастрофические последствия (вплоть до затопления рудников), генетически связаны с неоднородностями строения вмещающих осадочных толщ. Проведенными ранее исследованиями [4, 6, 10–12 и др.] установлено, что одной из причин формирования аномальных («нарушенных») зон в галогенных

формациях является влияние нижележащих рифогенных массивов. Помимо того, что они в значительной степени определяют пликативный структурный план вышележащих горизонтов осадочного чехла, отмечается приуроченность к ним участков интенсивного вторичного преобразования калийной залежи и перекрывающих отложений.

Подобная ситуация не является уникальной. Эвапоритовые формации надежно изолируют рифовые комплексы на разных структурных этажах осадочного чехла. Такая последовательность осадконакопления наблюдается в ряде осадочных бассейнов и отражает ход их естественной эволюции в определенных климатических и геодинамических обстановках. Анализ 143 нефтегазоносных бассейнов мира показал, что 62 % их территории (40 млн. км²), а также 85 – 90 %

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 13-05-96005 р_урал_a

запасов нефти и 75 – 80 % запасов газа, связанных в основном с рифовыми массивами, приходится на эвапоритовые и 38 % (15 млн. км²) на безэвапоритовые бассейны. [7].

Зачастую в качестве дополнительных признаков для прогнозирования, поисков и уточнения границ рифовых систем и отдельных рифовых массивов используются свойства вышележащих галогенных формаций. Впервые связь между мощностью интервала калиеносности и рельефом подстилающих карбонатных отложений установлена В.Д. Ильиным, С.П. Максимовым и другими исследователями в 1973 г. в Узбекистане, а затем Э.А. Высоцким, В.З. Кисликом, Д.М. Крошиным в 1974 г. в Белоруссии.

Предположение о связи негативных изменений внутренней структуры и состава соляной толщи Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС) с рифогенными образованиями в подсолевой части разреза высказано в работе [4]. Проведенные в последующем геологоразведочные работы и геомеханические расчеты подтвердили реальность данного предположения – по периферии позднедевонско-турнейских рифогенных массивов в соляной толще установлено наличие аномальных участков строения калийной залежи.

Вероятно, геологической основой выявленных закономерностей является процесс дифференциации рельефа дна солеродного бассейна вследствие неодинаковой способности к постседиментационному уплотнению подстилающих пород различного генезиса и литологического состава. Известно, что скорость роста рифа значительно превышает скорость седиментации в окружающем бассейне. Кроме того, уже на стадии формирования каркасные рифовые породы представляют собой жесткий лите-

фицированный субстрат, способный противостоять динамическим нагрузкам: гравитация не оказывает решающего влияния, уступая диагенетической цементации. Осадконакопление вне рифовых построек - преимущественно глинисто-карбонатное, в виде неуплотненного осадка, который подвергается значительному уплотнению с резким уменьшением мощности [6]. Таким образом, в ходе дальнейшей седиментации рельеф карбонатной формации становится еще более контрастным.

Кроме того, наличие жесткого и в то же время пористого и проницаемого рифового массива в большой степени предопределяет более активное, по сравнению с синхронными толщами, движение пластовых вод, а, следовательно, и более интенсивные катагенетические процессы. Благоприятный химический состав и скорость их циркуляции являются причиной интенсивного расширения трещин и повышения трещинной водопроницаемости. Этот разнонаправленный стадийный процесс, включающий унаследованность развития трещин, селективное выщелачивание и вынос минеральных веществ, переотложение их на отдельных участках, приводит к созданию сложной сети трещин различных генераций, морфологии, протяженности и обуславливает неоднородность фильтрации в карбонатных массивах. [3]. Все это играет существенную роль в распределении литотипов перекрывающих отложений.

На основании анализа данных об особенностях строения соленосного комплекса Верхнекамского месторождения, полученных в результате бурения и малоглубинных сейсморазведочных исследований, выполнена комплексная региональная оценка строения шахтных полей, территории

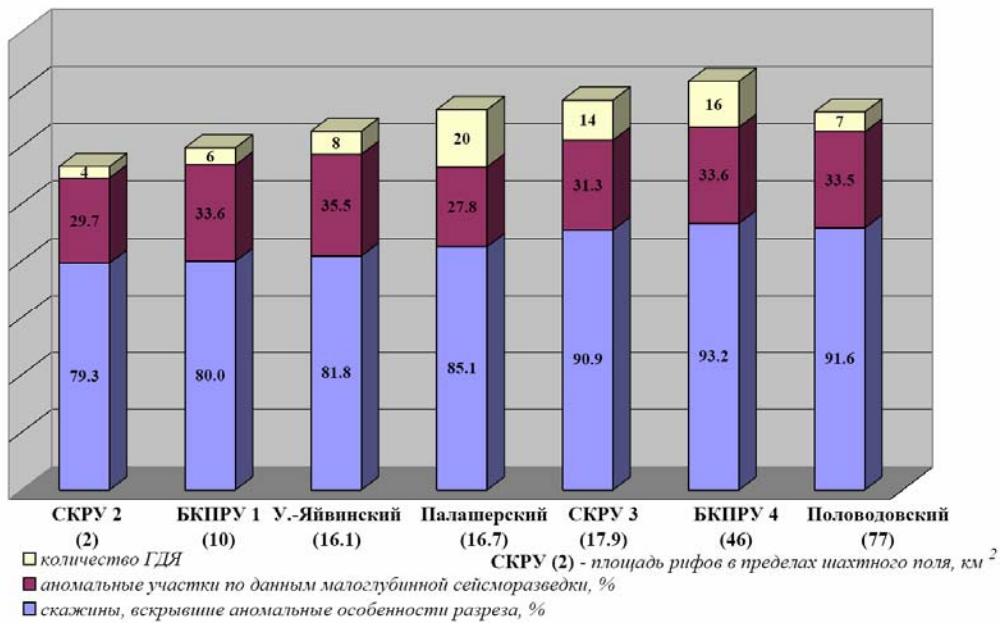


Рис. 1. Характеристика особенностей разреза шахтных полей ВКМКС

ально совмещенных с рифогенными массивами (рис. 1). Отмечается рост негативных изменений разреза иренских отложений с увеличением площади распространения рифов (таблица). Подобная тенденция позволяет прогнозировать повышенную сложность строения для Половодовского резервного участка, где рифовые постройки занимают около 20 % (77 км²) площади. В ходе его дальнейшего изучения и подготовки к отработке калийных пластов возможен рост всех рассмотренных параметров: литологических отклонений от нормального типа разреза, осложнений волнового поля, выявленных по результатам сейсморазведки, газодинамических явлений при бурении скважин.

Косвенным подтверждением взаимосвязи негативных изменений пород соляной толщи с рифами Березниковского палеоплато является очаговое распределение вторичных преобразований, проявляющееся в замеще-

нии каменной солью трех и более продуктивных пластов калийной залежи. Для оценки литологической неоднородности и характера вторичных изменений продуктивной толщи ВКМКС привлечены результаты бурения 440 солеразведочных скважин и материалы подсчета запасов на участках шахтных полей, сопряженных с нефтеперспективными структурами. Обобщение материалов показало, что за исключением шахтного поля БКПРУ-4, характеризующегося по-всеместным распространением пестрых сильвинитов во всех пластах карналлитовой зоны, наибольшее число отклонений от стандартного разреза калийной залежи характерно для контуров рифовых массивов (рис. 2). Так же, в контуре рифов фиксируются относительно пониженные значения содержания KCl в пластах сильвинитов.

На участках шахтных полей, расположенных над органогенными постройками, отмечается сокращение

Шахтное поле, участок (площадь, км²)	Риф	Площадь рифа в пределах шахтного поля, участка (км²)
СКРУ-2 (50.4)	Юрчукский	1.3
	Пашковский	0.7
Итого: 2 км²		
БКПРУ-1 (48.6)	Стрелецкий	8.2
	Березниковский	0.5
	Зыряновский	1.3
Итого: 10 км²		
Усть-Яйвинский (83.6)	Шершневский	0.9
	Березниковский	7.8
	Зыряновский	7.4
Итого: 16.1 км²		
Палашерский (90.1)	Белопашинский	12.6
	Уньвинский	4.1
Итого: 16.7 км²		
СКРУ-3 (114.5)	Восточно-Пашковский	2.1
	Пашковский	15.7
	Логовской	0.1
Итого: 17.9 км²		
БКПРУ-4 (185.4)	Стрелецкий	8.7
	Легчимский	26.7
	Южно-Юрчукский	10.6
Итого: 46 км²		
Половодовский (378.4)	Ростовицкий	30.3
	Новологовской	4.1
	Логовской	9.2
	Восточно-Пашковский	2.2
	Клестовский	4.0
	Жилинский	24.1
	Северо-Чашкинский	3.8
Итого: 77 км²		

срока службы горных выработок, что вызвано, очевидно, понижением прочности пород [4]. По результатам опытно-методических работ [2] установлены специфические особенности распределения физико-механических свойств пород в пределах рифового массива.

Участки соляного породного массива, опасные по газодинамическим явлениям, обладают особенностями геологического строения, обуславливающими существенное отличие их физико-механических свойств и напряженно-деформированного состояния от пород участков, не представляющих опасности [1]. Покализация очагов газодинамических явлений

в условиях ВКМКС зависит от многих факторов, основным из которых является наличие геологических осложнений: микроскладок, раздузов и пережимов пластов, скоплений глинистого материала, отслоений, локальной раздробленности пласта, одиночных полых трещин и их серий. Особенности размещения подобных, «ослабленных» зон можно оценить по распределению газовыделений из разведочных скважин.

При разведке Палашерского участка газопоявления отмечены в 20 разведочных скважинах, причем 11 из них (55 %) расположены либо в контуре рифового массива, либо в непосредственной близости от него.

На руднике БКПРУ-4 50 % случаев свободно выделяющихся газов зафиксировано при бурении скважин над рифовыми массивами. В пределах шахтного поля БКПРУ-1 и Усть-Яйвинского участка количество газовыделений из скважин, приуроченных к погребенным рифовым массивам Березниковского палеоплато, меньше: 2 (из 6 – 33 %) и 3 (из 8 – 37.5 %) соответственно. В центральной части Верхнекамского месторождения позднедевонско-турнейские рифовые массивы в основном закартированы в пределах Половодовского участка. Из 7 газовыделений, зафиксированных при бурении скважин, 2 установлено над Ростовицким рифом и 1 – над Клестовским. Таким образом, повышенную вероятность газопроявлений можно ожидать при бурении солеразведочных скважин в контуре рифового массива.

Приуроченность осложнений строения соляной толщи к рифогенным постройкам может быть обусловлена изменением литостатического поля

напряжений при формировании перекрывающих толщ. Для оценки достоверности этой гипотезы выполнялось математическое моделирование изменения напряженно-деформированного состояния осадочного чехла в процессе его формирования [4]. Его результаты показывают, что наличие позднедевонско-турнейского рифогенного образования вносит изменения в значения всех действующих напряжений. Влияние рифогенных построек на процесс образования трещин в осадочном чехле оценивалось с использованием энергетического критерия механики разрушения – S [5]. Зона его максимума находится непосредственно над склоном рифа. С удалением вверх по разрезу зона влияния рифа увеличивается, а степень его воздействия уменьшается. Вторая зона повышенных значений критерия расположена в верхней части осадочного чехла, и именно она оказывает непосредственное влияние на возможность образования трещин в соляной толще [9].

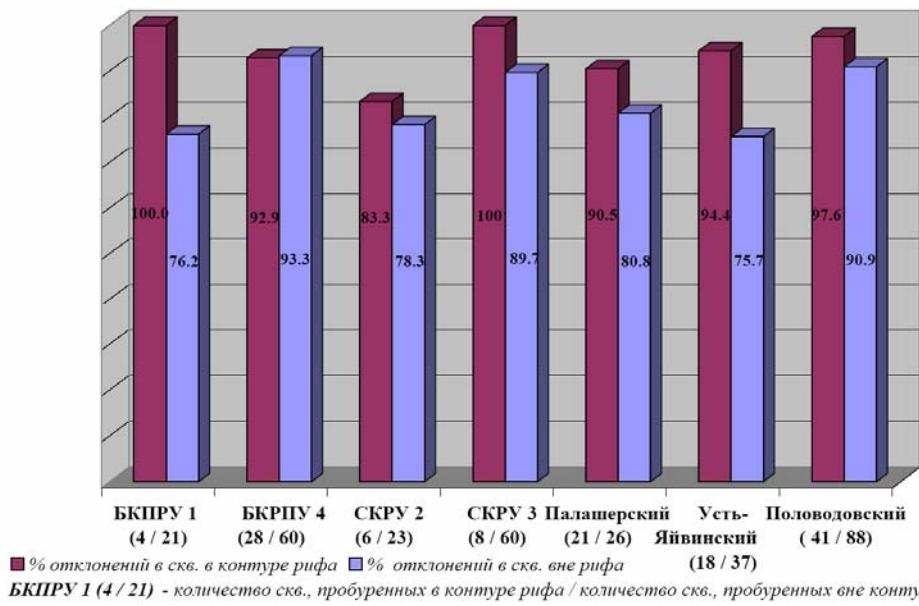


Рис. 2. Распределение отклонений от «стандартного» разреза калийной залежи

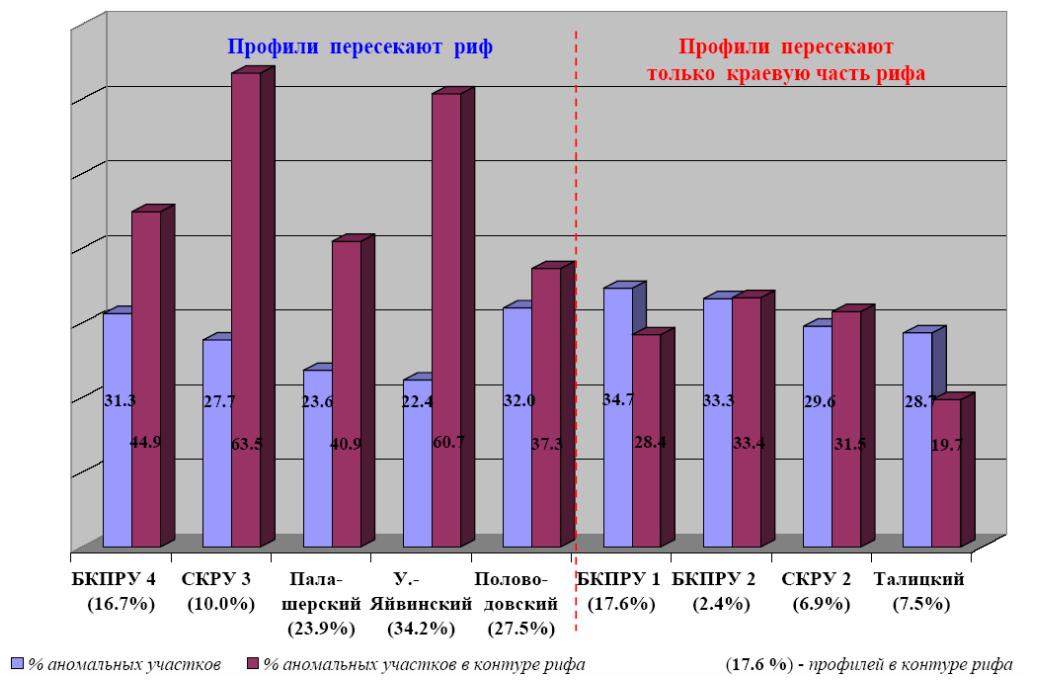


Рис. 3. Распределение аномальных участков, выделенных в соляной толще мало-глубинными сейсморазведочными исследованиями

По нарушениям структуры волновой картины, снижению интенсивности и значениям скоростной характеристики на профильных линиях выделен ряд участков, отличающихся по упругим свойствам от вмещающего массива пород. При их локализации учитывалась согласованность негативных изменений всех анализируемых сейсмических параметров [8]. Согласно сейсморазведочным данным осложнения волновой картины, пространственно приуроченные к рифам Березниковского палеоплато, в основном представлены следующими интерпретационными геологическими моделями:

- локальные структурные неоднородности – изменчивость гипсометрии опорных ОГ, интенсивная складчатость;
- зоны литологической изменчивости изучаемой толщи – нарушение

регулярного рисунка записи, повышенное затухание, падение значений скоростной характеристики;

– тектонические дислокации – резкий скачок фазы целевого отражающего горизонта, интенсивные дифрагированные волны с крутопадающими наклонными осями синфазности, резкое изменение энергетического и частотного состава сейсмической записи.

Пространственное распределение осложнений волнового поля согласуется с характером изменения структурно-физических параметров. Повавляющее большинство выделенных участков приурочено к областям повышенных структурных градиентов поверхностей основных литологических комплексов соляной и надсолевой толщ и относительно пониженных значений интервальных скоростей. Отмечается повышенная концентра-

ция аномальных зон на «рифовых» участках шахтных полей по сравнению с «безризовыми» (рис. 3). Следует отметить, что когда профили пересекают не только склоновую часть, но и сам риф процент аномалий в контуре рифа по сравнению с остальной площадью шахтного поля значительно возрастает (до 2.7 раз на Усть-Яйвинском участке).

Таким образом, формирование ослабленных зон в соляной толще ВКМКС над рифовыми массивами Березниковского палеоплато установлено как прямыми (бурение скважин, опробование, фиксация газодинамических явлений) так и дистанционными (сейсморазведочные работы, газогеохимическое опробование) исследованиями. Возможность наличия подобных ослабленных участков показана методами математического моделирования.

Рассматриваемые негативные изменения носят как конседиментаци-

онный так и постседиментационный характер. Первый определяется главным образом рельефом дна солеродного бассейна и выражается в неодинаковых условиях эвапоритонакопления. Второй связан как с влиянием нижележащих толщ, так и с перекрывающими соляной комплекс отложениями. Результаты геомеханических расчетов показывают, что в процессе формирования надсолевых отложений создаются предпосылки к образованию в соляной толще зон трещиноватости, обусловленных существенным изменением напряженно-деформированного состояния.

Следует отметить, что интенсивные негативные изменения внутренней структуры и состава соляной толщи приурочены не только к склонам, но и к центральным частям рифовых массивов, представленных фациями гребня и рифовой платформы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрейко С.С. Текущее прогнозирование газодинамических явлений из кровли горных выработок в калийных рудниках: теория и критерии. // Стратегия и процессы освоения георесурсов. Сборник научных трудов, вып. 10/ ГИ УрО РАН. – Пермь, 2012. – С.217 – 219.
2. Асанов В.А. Влияние глубинных рифовых структур на механические свойства соляных пород / Асанов В.А., Токсаров В.Н., Аникин В.В. // ГИАБ – 2005, №8, С. 163 – 167.
3. Багринцева К.И. Условия формирования и свойства карбонатных коллекторов нефти и газа. М.: РГПУ, 1999 (II). - 285 с.
4. Барях А.А. О влиянии рифогеных образований на структуру верхних этажей осадочного чехла / Барях А.А., Санфицов И.А., Еремина Н.И. и др. // ДАН, 1998. - том 363, С.371 – 374.
5. Барях А.А. Оценка условий развития трещин в подработанном соляном мас-
- сиве / Барях А.А., Еремина Н.А., Грачева Е.А. // ФТПРПИ – 1994, №5, С. 84 – 88.
6. Ильин В.Д. Методы прогнозирования и поисков нефтегазоносных рифовых комплексов. / В.Д. Ильин, Н.К. Фортунатова. – М.: Недра, 1988. – 201 с.
7. Китык В.И. Роль эвапоритов в нефтегазоности осадочных толщ фанерозоя // 27-й Международный геологический конгресс: Тезисы. Т. IX, ч. 2. М., 1984. – С. 250 – 279.
8. Санфицов И.А. Рудничные задачи сейсморазведки МОГТ. - Екатеринбург, 1996. – 167 с.
9. Федосеев А.К. О вкладе рифогенных образований в формирование природно-ослабленных зон в соляной толще // ГИАБ. – 2011 - № 4 С. 141-145.
10. Gendzwill D.J. Rock mass characterization around Saskatchewan potash mine opening using geophysical techniques: a review. / Gendzwill D.J., Stead D. // Canadian

Geotechnical Journal, Vol. 29, № 4, 1992, p.666-674.

11. Halabura S. P. (Steve) An overview of the geology of solution mining of potash in Saskatchewan / S. P. (Steve) Halabura, Michael P. Hardy // Solution Mining Research Institute; Fall 2007 Technical Meeting.

12. Mackintosh A.D. Geological Anomalies observed at the Cominco Ltd. Saskatchewan Potash Mine / Mackintosh A.D., Mc'Vitte G.A. // Potash technology: Mining Processing, Maintenance, Transportation, Occupation Health and Safety, Environment. Pergamon Press. – 1983. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Никифорова Анастасия Игоревна – мл. научный сотрудник отдела активной сейсмоакустики, e-mail: nikiforova_ai@mail.ru

Санфиров Игорь Александрович – доктор технических наук, профессор, зам директора по научной работе, e-mail: sanf@mi-perm.ru

Калашникова Марина Михайловна – вед. инженер отдела активной сейсмоакустики, e-mail: kalashnikova@mi-perm.ru

Горный институт Уральского отделения РАН.



UDC 550.834

REGIONAL ASSESSMENT OF THE UPPER KAMA MINE FIELDS COMPLEXITY SEISMOGEOLOGICAL STRUCTURE

Nikiforova Anastasiya I., junior researcher department of active seismoacoustics,

Sanfirov Igor A., Dr. S (Tech.), prof., deputy director, e-mail: sanf@mi-perm.ru,

Kalashnikova Marina M., advanced engineer department of active seismoacoustics,

Mining Institute of the Ural Branch Russian Academy of sciences.

Geological complications of evaporite sections, which caused disastrous, genetically related to the anomalous structure enclosing sedimentary layers. Previous studies have found that one of the probable reasons of the "disturbed" areas formation is the influence of the underlying reef massifs. Probably the geological basis revealed regularities is the differentiation process of the bottom relief salt-origin basin due to unequal ability to postsedimentary compaction of the underlying rocks different genesis and lithology.

The influence of reef structures to the potash accumulation features is analyzed for Upper Kama deposit. Formation of weak zones in the salt series installed direct (well drilling, testing) and remote (seismic surveys, geochemical sampling) studies. The possibility of such sites presence is justified by mathematical modeling. Negative changes in the structure of potash accumulation consist in replacing rock salt producing formations, reducing their thickness and the content of useful components. In the areas of mine fields, located above the organogenic buildings, marked reduction in service life of mine workings, which is caused, apparently, a decrease of rock strength. When drilling wells in the circuit reef massif increases the likelihood of gas shows. According to the geomechanical calculations presence reef mass makes changes in the values of all operating stresses. There is increased concentration of the wave field complications in the range of the salt stratum to "reef" areas of the mine fields compared with "no reef". When profiles cross not only descent part, but the reef itself the percentage of anomalies in the reef contour compared to the rest area of the mine field is greatly increased.

Regional assessment of the mine fields structure, territorial superposed with a reef arrays is based on the analysis of data about the features structure of the saliferous complex, derived from drilling and shallow seismic studies. There is an increasing of negative changes P_1 in sediments with increasing reefs sizes. Negative changes are considered as consedimentation and postsedimentation nature. Intense negative changes in the internal structure and composition of the salt stratum are confined not only to the descents, but also to the central parts of the reef massifs represented by the crown and reef platform facies.

Key words: Upper Kama potash deposit, reef, facies, lithology, seismic, gas shows, mathematical modeling, adverse changes.

REFERENCES

1. Andreiko S. [2012] Current forecasting gas bursts of roof mining in potash mines: theory and criteria. *Strategy and processes of georesources development*, 10, 217 – 219.
2. Asanov V., Toksarov V., Anikin V. [2005] The influence of deep reef structures on the mechanical properties of salt rocks. *Mining informational and analytical bulletin*, 8, 163 – 167.
3. Bagrinceva K. [1999-II] Conditions of formation and properties of carbonate oil and gas reservoirs. RSUH.
4. Baryakh, A., Sanfirov I., Eremina N. [1998] About influence of reef formations on the upper floors structure of the sedimentary cover. *Doklady Akademii Nauk*, Vol. 363, 371 – 374.
5. Baryakh, A., Eremina N., Gracheva E. [1994] Assessing the conditions of the cracks development in the mined salt stratum. *Journal of Mining Science*, 5, 84 – 88.
6. Ilyin V., Fortunatova N. [1988] Methods of forecasting and prospecting for oil and gas reef complexes. Nedra.
7. Kityk V. [1984] The role of evaporites in the oil and gas bearing sedimentary strata of Phanerozoic. *International geological Congress*, Vol. IX p.2, 250 – 279.
8. Sanfirov I. [1996] Mining tasks of SDP seismic. Ural Branch Russian Academy of sciences.
9. Fedoseev A. [2011] About reef formations contribution in the form of natural-weakened zones in the salt stratum. *Mining informational and analytical bulletin*, 4, 141-145.
10. Gendzwill D.J., Stead D. [1992] Rock mass characterization around Saskatchewan potash mine opening using geophysical techniques: a review. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 29, □ 4, 666-674.
11. S. P. (Steve) Halabura, Michael P. Hardy [2007] An overview of the geology of solution mining of potash in Saskatchewan. *Solution Mining Research Institute; Fall 2007 Technical Meeting*.
12. Mackintosh A.D., Mc'Vitte G.A. [1983] Geological Anomalies observed at the Cominco Ltd. Saskatchewan Potash Mine. *Potash technology: Mining Processing, Maintenance, Transportation, Occupation Health and Safety, Environment*. Pergamon Press.



О Т Д Е Л Н Ы Е С Т А Т Ъ И ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (ПРЕПРИНТ)

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ РОЛИ КООПЕРАЦИИ И СПЕЦИАЛИЗАЦИИ В ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВОЕНИЯ ПРИРОДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

УДК 553.3/9

Попов Михаил Сергеевич – кандидат технических наук, ведущий специалист МЕЧЕЛ,
Савин Константин Сергеевич – аспирант, Московский государственный горный университет,

Приведена методологическая база на основе разработанных принципов определяющих эффективность применения кооперации и специализации производственных процессов горного производства при освоении природных месторождений.

Ключевые слова: методологические основы оценки роли кооперации и специализации, эффективность освоения природных месторождений.

METHODOLOGICAL BASIS OF EVALUATION OF THE ROLE OF COOPERATION AND SPECIALIZATION IN INCREASE OF EFFICIENCY OF DEVELOPMENT OF NATURAL DEPOSITS

Savin K.S., Popov M.S. Moscow State Mining University, Russia, ud@msmu.ru

Provides a methodological framework based on the principles of determining the efficiency of application of cooperation and specialization of production processes of mining during the development of natural deposits.

Key words: methodological basis of evaluation of the role of cooperation and specialization, the efficiency of development of natural deposits.