

GEOPHYSICAL RESEARCHES ON STUDYING OF STRUCTURE AND ASSESSMENT OF STATUS OF WAVE-BUILT SALT PLATE BY THE SURFACE OF WORKED OUT SLIME STORAGE

Shemet S. F.¹, Chief Executive Officer, Doctor of Engineering Sciences, e-mail: gran1@tut.by

Prokhorov N. N.¹, Leading Researcher, Candidate of Engineering Sciences

Kafanova T. P.¹, Junior Researcher

¹ «Belgorkhimprom» JSC (Minsk, Republic of Belarus)

Nowadays, urgency is given to the questions, connected with development of potassium enterprises' waste disposal technologies, which allow to decrease the number of territories, used for their placement. Specialists from «Belgorkhimprom» JSC designed the pilot construction site project for usage of worked out slime storage of the third Mine group into a base for expanded salt burrow. According to this decision, a halite waste layer is preliminary formed directly on the whole surface of slime storage. As a result of consolidation process, halite wastes are transformed into solid half-rock, which covers the territory of slime storage as a salt plate. According to this, the salt burrow, which technology and height depends on the salt plate's bearing capacity, is formed on the prepared salt plate. Salt plate condition control must be performed within all construction stages. Application of geophysical methods is required along with visual and instrumental control methods, which include topographical and engineering-geological surveying.

Results of the carried out researches of wave-built salt plate study have shown the high informativity of chosen geophysical methods. During the researches, the most efficient geophysical methods of wave-built plate were highlighted, together with maximum target resolution and accuracy of used methods. Usage of complex of geophysical methods shows high reproducibility and unlocks new opportunities for usage of these methods for research of massif, constructed by industrial halite subsoil.

Key words: Starobinsky deposit, dump of solid concentration wastes, insoluble slimes, excessive brines, slime storage, salt plate, geophysical researches, electrometry, georadiolocation, seismic survey, monitoring.

REFERENCES

1. Smychnik A. D., Bogatov B. A., Shemet S. F. *Geoekologiya kaliynogo proizvodstva* (Geology of potassium production). Minsk : «YuNIPAK» JSC, 2005, 200 p.
2. Shemet S. F., Prokhorov N. N., Musalev D. N., Vagin V. B. *Vestnik Belneftekhima – Belneftekhim Bulletin*, 2009, No. 9, pp. 56–59.
3. *Voprosy podpoverkhnostnoy radiolokatsii* (Issues of surface radiolocation). Under the editorship of A. Yu. Grinev. Moscow : Radiotekhnika, 2005, 416 p.

УДК 622.831.5/.6:622.363.2

В. Н. НОВОКШОНОВ, А. Ф. ДАНИЛОВА, В. Н. ДЕШКОВСКИЙ (ОАО «Белгорхимпром»)
В. Э. ЗЕЙТЦ (ОАО «Беларуськалий»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗВИТИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ТРЕЩИН В ПОДРАБАТЫВАЕМОМ МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД НА СТАРОБИНСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ



В. Н. НОВОКШОНОВ,
старший научный сотрудник,
канд. техн. наук



А. Ф. ДАНИЛОВА,
зав. лабораторией



В. Н. ДЕШКОВСКИЙ,
ведущий научный сотрудник,
канд. техн. наук



В. Э. ЗЕЙТЦ,
главный маркшейдер

Показаны многолетние и трудоемкие натурные исследования (из специально пройденных горных выработок) процесса развития техногенной трещиноватости в подрабатываемом очистными работами массиве горных пород Старобинского месторождения калийных солей, позволившие уточнить механизм образования и развития водопроводящих трещин в пространстве и во времени и на этой основе прогнозировать и предупреждать угрозы затопления рудников.

Ключевые слова: разработка калийных солей, водозащитная толща, подрабатываемый массив, напряженное состояние, деформации, мульда сдвижения, трещины расслоения, секущие трещины, зоны разлома, водопроводящие каналы.

Подрабатываемый массив Старобинского месторождения калийных солей представляет собой комплекс переслаивающихся горных пород — глин, солей, мергелей, наносов и других, без включений крепких породных мостов. Калиеносная субформация осадочного чехла, к разрезу которой приурочены разрабатываемые калийные горизонты, перекрыта отложениями девонской

глинисто-мергелистой толщи, водоупорные породы которой подстилают водоносный комплекс мезозойско-кайнозойских отложений мощностью 100–120 м, являющийся зоной активного водообмена.

Изучением техногенной трещиноватости подработанного массива пород в натуральных условиях и на математических моделях

Старобинского месторождения в течение нескольких десятилетий занимаются специализированные научно-исследовательские организации (ВНИИГ, ОАО «Белгорхимпром», БГУ) совместно с недропользователем — ОАО «Беларуськалий».

В зоне влияния горных работ внутри подработанного массива происходит перераспределение напряжений под действием сил гравитации и формируется напряженно-деформированное состояние (НДС), сложность и разнообразие которого обусловлено изменением горнотехнических условий на разных стадиях производства горных работ, что не позволяет в настоящее время сформировать единую теорию деформирования пород для всех условий и ситуаций, однако не исключает возможности разработки аналитических решений для определения деформаций в отдельных зонах [1]. При этом решение задач горной геомеханики осложнено недостаточной изученностью процесса деформирования породного массива от влияния горных работ, а также физико-механических свойств пород и их состояния в разных зонах мульды сдвижения.

Наиболее значимые результаты исследований были получены в условиях применения столбовых систем разработки калийных пластов. При управлении кровлей в очистном забое полным обрушением процесс сдвижения подработанного массива протекает с большими скоростями за сравнительно короткий промежуток времени. Основной целью исследований было изучение трещинообразования и развития водопроводящих каналов в подработанном массиве пород в разных зонах мульды сдвижения: в зоне повышенного опорного давления (над целиком) и в зоне разгрузки напряжений непосредственно над выработанным пространством. В натурных условиях проводили специальные исследовательские выработки в подработанном массиве с производством измерений на наблюдательных станциях как внутри массива, так и на земной поверхности [2].

Лавой № 68 длиной 200 м разрабатывали валовым способом слои II+III Третьего калийного пласта РУ-1 на общую выемочную мощность 2,2 м на глубине 587 м. Породный массив испытывал повторное влияние горных работ спустя 5 лет после отработки IV сильвинитового слоя мощностью 1,2 м того же пласта лавой № 39 на глубине 584 м. На глубине 454 м (горизонт каменной соли на абс. отм. –305 м) и на земной поверхности в одном вертикальном створе были оборудованы профильные линии реперов, расположенные перпендикулярно подвиганию забоя лавы [3].

Анализ результатов наблюдений показал, что с момента прохода забоя лавы через створ профиля реперов оседание подработанного массива происходит одновременно по всей глубине подработки, но с разными скоростями. При подвигании забоя лавы около 80 м в месяц скорость оседания земной поверхности в период активной стадии процесса сдвижения над серединой лавы достигала 6,5 мм в сутки. В разведочной выработке на горизонте каменной соли при глубине подработки 133 м скорость оседания массива пород в мульде сдвижения достигла максимальной величины около 16 мм/сут (рис. 1).

Различные скорости оседания на разных глубинах подработанного слоевого массива обуславливают возникновение тре-

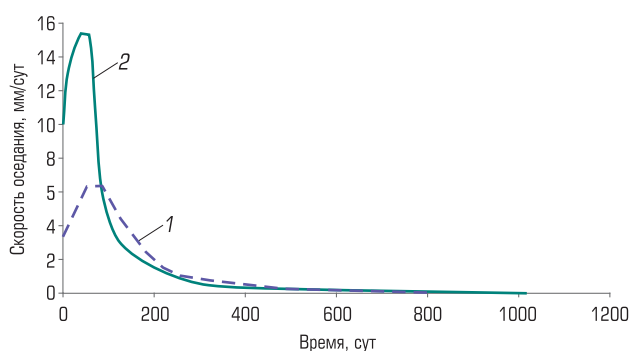


Рис. 1. Скорость оседания репера, расположенного над серединой лавы № 68: на земной поверхности (1) и глубине 445 м (2)

щин расслоений по плоскостям напластований. При этом величины оседаний в мульде сдвижения на земной поверхности и внутри массива существенно отличаются. Исследование разности оседаний земной поверхности и пород внутри массива на различных участках мульды сдвижения показало, что по окончании активной стадии процесса сдвижения над массивом у границы лавы в зоне опорного давления эта разность остается постоянной до окончания процесса сдвижения. В то же время в зоне разгрузки напряжений внутри массива над серединой лавы разность оседаний постоянно уменьшается по мере перехода процесса сдвижения в стадию затухания, что можно характеризовать как закрытие трещин расслоения в подработанном вышележащем слоевом породном массиве. За три года общее закрытие трещин расслоения в зоне плавного прогиба пород над серединой лавы составило 120 мм (рис. 2).

В исследовательской выработке № 1 Первого калийного горизонта РУ-1, пройденной навстречу подрабатываемой лаве № 6 Второго калийного горизонта, при возобновлении работ в лаве после длительной ее остановки зафиксировано резкое смещение подработанного массива с разломом пород секущими

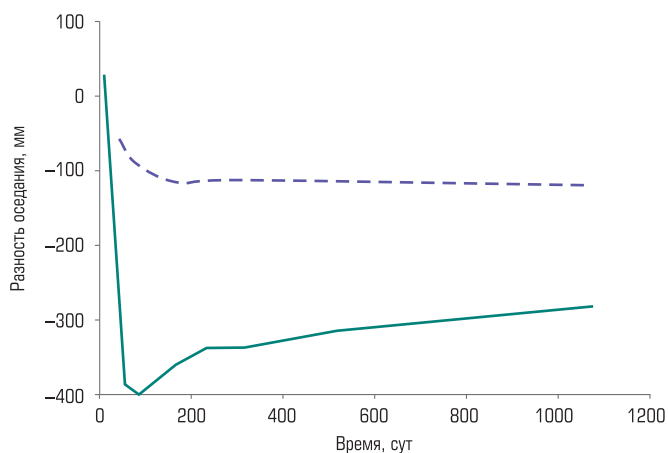


Рис. 2. Изменение во времени разности оседания в мульде сдвижения: над границей (1) и серединой (2) лавы

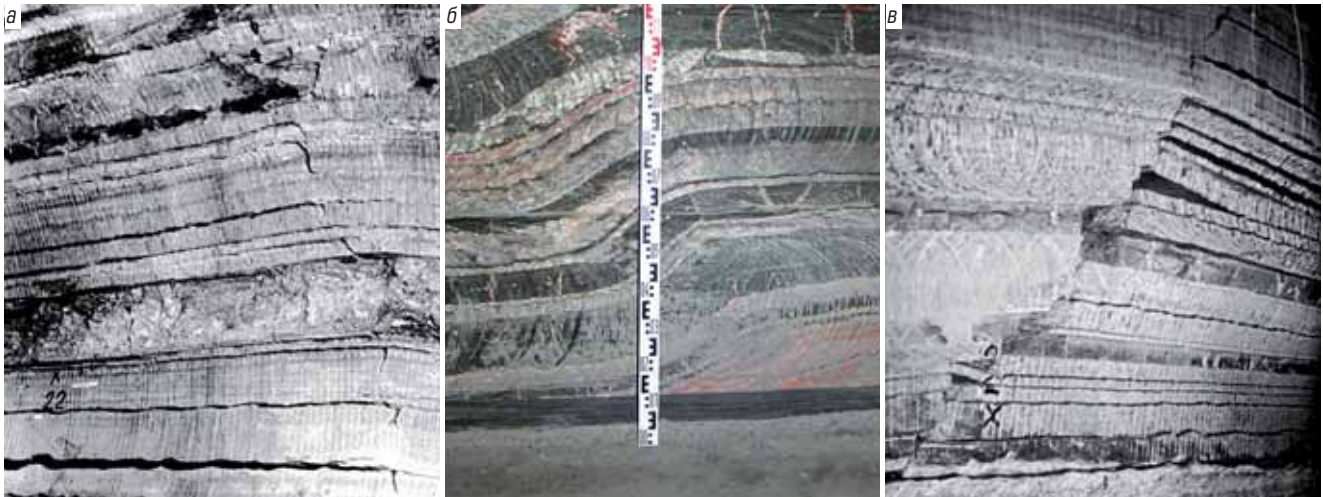


Рис. 3. Фрагменты натуральных исследований развития техногенной трещиноватости в подрабатываемом массиве горных пород:
а — техногенные трещины над выработанным пространством лавы № 6 Второго калийного горизонта рудника РУ-1 (1989 г.);
б — разломная зона на высоте 65 м над бортовым штреком лавы № 6 (2004 г.); *в* — водопроводящий канал над лавой № 6 на высоте 65 м (1989 г.)

трещинами в зоне разгрузки напряжений над выработанным пространством лавы на высоте 65 м. Ширина зоны разлома пород, ограниченная секущими трещинами, составила около 3 м с раскрытием трещин расслоения до 80–100 мм по плоскостям напластования. В результате прогиба слоистого породного массива в отдельных слоях появились секущие трещины с раскрытием до 10–15 мм, ограничивающие зону разлома пород с обеих сторон. Горизонтальные деформации растяжения в этой зоне составили 3,5–4 мм/м. В исследовательской выработке при глубине подработки 65 м в зоне опорного давления деформации растяжений в мульде сдвижения достигли величины 0,6–0,9 мм/м на интервале 10 м. При этом визуально прослеживались также секущие трещины по отдельным слоям массива с раскрытием менее 1 мм, однако при отсутствии трещин расслоения не имели выхода в выработанное пространство. Таким образом, над выработанным пространством лавы в зоне разлома слоевого массива образовались две системы трещин, которые, пересекаясь, способны создать водопроводящие каналы в выработанное пространство (рис. 3, *а*).

Подобные смещения пород с зонами разломов в подработанном массиве вскрыты разведочными выработками № 5 на Первом калийном горизонте РУ-1 и № 2.2 на Втором калийном горизонте РУ-3 над участками, примыкающими к бортовым штрекам лав, соответственно, № 6 и 1 с одинаковой выемочной мощностью 2,4 м.

В массиве пород, подработанном лавой № 6, на высоте 65 м амплитуда смещения слоев в разломной зоне составила 250 мм (рис. 3, *б*), а над лавой № 1 на высоте 5 м — 900 мм [4]. Сопоставляя полученные результаты, можно прогнозировать высоту распространения разломных зон до 90 м, что составляет 38-кратную мощность выемки в лавах (2,4 м). Углы наклона зон разлома в массиве составляют 50–55° к горизонту в сторону выработанного пространства от границы выработки, что соответствует углу полных сдвижений в мульде. В этих зонах, спустя 15

и 5 лет с момента их образования, все трещины были закрыты и визуально не просматривались.

Механизм формирования и развития техногенных трещин в подработанном слоистом массиве угольных месторождений подробно рассмотрен в современной литературе [5–9]. Что касается Старобинского месторождения калийных солей, то обобщение результатов проведенных натуральных исследований позволило предположить следующий механизм сдвижения подработанного массива и образования техногенных водопроводящих трещин для подземных рудников ОАО «Беларуськалий».

В результате прогиба слоистого массива над выработанным пространством в нем появляются растягивающие напряжения, которые, по мере увеличения оседаний в мульде сдвижения, в местах наибольшего изгиба слоев подработанного массива достигают предела прочности пород на разрыв с появлением и развитием поперечных секущих трещин. В массиве образуется зона разлома с двумя системами трещин — расслоений и секущих. При определенных условиях секущие трещины достигают трещин расслоения, в результате чего формируется водопроводящий канал в выработанное пространство — образуется так называемая линия разрыва в зоне разлома пород. Например, такой канал в исследовательской выработке № 2 образовался на высоте 65 м над лавой № 6 (рис. 3, *в*). Таким образом, в мульде сдвижения подработанного слоевого массива водопроводящие каналы образуются как результат пересечения трещин расслоения по плоскостям напластования и секущих трещин над выработанным пространством в зонах разломов слоев.

Высота зоны распространения водопроводящих трещин в подработанном массиве зависит от выемочной мощности лавы и физико-механических свойств пород. Для уменьшения высоты зоны распространения водопроводящих трещин (в условиях ограниченной мощности водозащитной толщи) рекомендовано создание в выработанном пространстве бутовых полос вдоль бортовых штреков лавы, которые, искусственно сокращая выемочную мощность,



обеспечивают плавный прогиб кровли и меньшую амплитуду смещения отдельных слоев, а следовательно, и минимизацию высоты распространения водопроводящих каналов (техногенных трещин).

Библиографический список

1. Ковалев О. В., Ливенский В. С., Былинно Л. В. Особенности безопасной разработки калийных месторождений. — Минск : Полымя, 1982. — 96 с.
2. Смычник А. Д., Невельсон И. С., Дешковский В. Н. Натурные исследования по определению высоты формирования зоны техногенных водопроводящих трещин над разрабатываемыми пластами Старобинского месторождения калийных солей Республики Беларусь // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. 2009. № 5. Ч. 1. С. 92–99.
3. Новокшонов В. Н., Данилова А. Ф., Дешковский В. Н. и др. Некоторые особенности развития техногенной трещиноватости внутри повторно подработанного массива горных пород // Маркшейдерский вестник. 2011. № 2. С. 53–55.
4. Новокшонов В. Н., Дешковский В. Н., Зольников Н. А. и др. Изучение техногенной трещиноватости при разработке Старобинского месторождения калийных солей столбовой системой разработки // Горная механика и машиностроение. 2011. № 3. С. 29–36.
5. Гусев В. Н. Геомеханика техногенных водопроводящих трещин. — СПб. : СПГГИ, 1999. — 156 с.
6. Певзнер М. Е., Иофис М. А., Попов В. Н. Геомеханика. — М. : Изд-во МГГУ, 2005. — 438 с.
7. Бошнятов Е. В. Развитие зоны водопроводящих трещин при разработке угольных пластов с обрушением кровли // Горный журнал. 2006. № 8. С. 50–52.
8. Мохов А. В. Морфология зон водопроводящих трещин сдвижения на участках подземных разработок каменноугольных залежей // ГИАБ. 2008. № 1. С. 273–280.
9. Гусев В. Н., Миронов А. С., Анопов Е. В. и др. Геомеханическая оценка развития зон водопроводящих трещин в подрабатываемой толще // Маркшейдерский вестник. 2011. № 5. С. 39–42.

Новокшонов Виктор Никанорович,
e-mail: novokshonov@tut.by
Данилова Анжела Федоровна,
e-mail: anjelika-sol@tut.by
Дешковский Василий Николаевич,
e-mail: glanigo@tut.ru
Зейтц Вячеслав Эдуардович,
e-mail: zv@kali.by

RESEARCH OF PROCESS OF DEVELOPMENT OF ANTHROPOGENIC FRACTURES IN UNDERWORKED ROCK MASSIF AT STAROBINSKY DEPOSIT

Novokshonov V. N.¹, Senior Researcher, Candidate of Engineering Sciences, e-mail: novokshonov@tut.by
Daniilova A. F.¹, Head of Laboratory of Researches of Rocks and Geocology Movement Processes
Deshkovskiy V. N.¹, Leading Researcher, Candidate of Engineering Sciences
Zeytts V. E.², Chief Mine Surveyor

¹ «Belgorkhimprom» JSC (Minsk, Republic of Belarus)

² «Belaruskali» JSC (Soligorsk, Republic of Belarus)

Specification of mechanism of formation and development of water supply fissures in surface and in time became possible due to the many-year and labor-consuming field survey (from specially prepared excavations) of the process of development of anthropogenic fracturing in rock massif of Starobinsky potassium salts deposit, underworked by stoping. On the basis of this availability, the forecasts and preventions of mine flood threat became also possible.

During several tens of years, specialized scientific-research organizations (B. E. Vedenev All-Russian Scientific-Research Institute of Hydrotechnics, «Belgorkhimprom» JSC, Belarusian State University), together with subsoil user («Belaruskali» JSC) have been carrying out the full scale research of anthropogenic fissuring of underworked rock massif on mathematical models of Starobinsky deposit.

The most significant results of researches were obtained in conditions of usage of panel systems of development of potassium layers. During the full caving strata control in storing face, the process of movement of underworked massif is carried out with big rates for relatively short period of time. The main purpose of research was the study of fissures-formation and development of water supply canals in underworked rock massif in various areas of movement molds:

- first is the area of increased bearing pressure (beyond the pillar);
- second is the unloading area of pressures directly beyond the worked out surface.

Creation of packs along the boundary entries of walls in worked out space is recommended for decreasing of the height of water supply fissures' spreading area (in the conditions of restricted power of waterproof mass). These boundary entries decrease the workable width artificially, which provides the smooth roof deflection and lower shift of separate layers. Therefore, minimization of height of spreading of water supply canals (anthropogenic fissures) is also provided.

Key words: development of potassium salts, waterproof mass, underworked massif, stressed state, deformations, movement mold, stratification fissures, cross fissures, fault zones, water supply canals.

REFERENCES

1. Kovalev O. V., Livenskiy V. S., Bylinno L. V. *Osobennosti bezopasnoy razrabotki kaliynikh mestorozhdeniy* (Peculiarities of safe development of potassium deposits). Minsk : Polymya, 1982, 96 p.
2. Smychnik A. D., Nevelson I. S., Deshkovskiy V. N. *Naukovi pratsi UkrNDMI Natsionalnoi Akademii Nauk Ukraini – Transactions of UkrNDMI of National Academy of Sciences of Ukraine*, 2009, No. 5, Part. 1, pp. 92–99.
3. Novokshonov V. N., Daniilova A. F., Deshkovskiy V. N. et al. *Marksheydskiy vestnik – Mine surveying journal*, 2011, No. 2, pp. 53–55.
4. Novokshonov V. N., Deshkovskiy V. N., Zolnikov N. A. et al. *Gornaya mekhanika i mashinostroenie – Mechanics and Mining Machinery*, 2011, No. 3, pp. 29–36.
5. Gusev V. N. *Geomekhanika tekhnogennykh vodoprovodyashchikh treshchin* (Geomechanics of anthropogenic water supply fissures). Saint Petersburg : National Mineral Resources University, 1999, 156 p.
6. Pevzner M. E., Iofis M. A., Popov V. N. *Geomekhanika* (Geomechanics). Moscow : Publishing House of Moscow State Mining University, 2005, 438 p.
7. Boshenyatov E. V. *Gornyi Zhurnal – Mining Journal*, 2006, No. 8, pp. 50–52.
8. Mokhov A. V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten – Mining Informational and Analytical Bulletin*, 2008, No. 1, pp. 273–280.
9. Gusev V. N., Mironov A. S., Anopov E. V. et al. *Marksheydskiy vestnik – Mine surveying journal*, 2011, No. 5, pp. 39–42.