

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В УСЛОВИЯХ ГРЕМЯЧИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ

В.Н. Токсаров¹, И.А. Морозов¹, Н.Л. Бельтюков¹, А.А. Ударцев¹

¹ Горный институт Уральского отделения РАН, Пермь, Россия, e-mail: imorozov.work@yandex.ru

Аннотация: Приведены результаты анализа параметров деформирования горных пород в окрестности капитальных горных выработок, расположенных в силвинитовом пласте на глубине около 1100 м. Вмещающий породный массив характеризуется тем, что в кровле выработок залегают крепкие ангидрит-доломитовые породы, а в непосредственной близости от почвы выработок — слабые карналлитовые. Экспериментальные выработки пройдены комбайновым способом с параметрами: высота — 3,7 м, ширина — 6,0 м. Контроль деформаций на шести замерных станциях производился в выработках, закрепленных анкерной крепью по сетке, соответственно, 1,0×1,0, 1,5×1,5 и 2,0×2,0 м. Две замерные станции располагались в незакрепленной выработке. Установлено, что к основным факторам, влияющим на величину деформаций контура капитальных выработок, относятся параметры анкерного крепления и особенности геологического строения вмещающих пород. Так, например, усиление крепления кровли приводит к уменьшению величин и скоростей смещений не только кровли, но и боков выработок. Наибольшие величины смещений и их скорости зафиксированы в почве выработок. Повышенные величины смещений пород почвы следует ожидать при уменьшении расстояния от контура выработки до ближайшей границы раздела пластов (слоев) в почве. Представленные результаты могут быть полезны специалистам в области геомеханики, проектирования и строительства горных выработок.

Ключевые слова: крепление горных выработок, анкерная крепь, соляные породы, смещение кровли горной выработки, смещение боков горной выработки, смещение почвы горной выработки, конвергенция горной выработки, устойчивость горных выработок на больших глубинах, ползучесть соляных пород.

Благодарность: Работа выполнена в рамках госзадания № НИОКТР АААА-А18-118040690032-2, а также при финансовой поддержке РФФИ и Пермского края в рамках научного проекта № 19-45-590004.

Для цитирования: Токсаров В.Н., Морозов И.А., Бельтюков Н.Л., Ударцев А.А. Исследование деформирования подземных горных выработок в условиях Гремячинского месторождения калийных солей // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 7. – С. 113–124. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-113-124.

Deformation of underground excavations under conditions of the Gremyachinsk potassium salt deposit

V.N. Toksarov¹, I.A. Morozov¹, N.L. Beltyukov¹, A.A. Udartsev¹

¹ Mining Institute of Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Perm, Russia,
e-mail: imorozov.work@yandex.ru

Abstract: The analysis of rock mass deformation around permanent excavations in sylvinitic seam at a depth of 1100 m is presented. Surrounding rock mass features occurrence of hard anhydrite–dolomite rocks in the roof and soft carnallite in the floor of underground excavations. The test openings were driven with height of 3.7 m and width of 6.0 m using a cutter-loader. The deformation control used 6 measurement points in the excavations with support by rockbolting in the patterns of 1.0×1.0, 1.5×1.5 and 2.0×2.0 m. Two measurement points were arranged in an unsupported excavation. It is found that the key factors influencing deformation of the perimeter of underground excavations are the rockbolting design and the geological structure of enclosing rock mass. For instance, the reinforcement of roof support decreases values and velocities of deformation both in the roof and sidewalls of excavations. The highest values of velocities of displacements are recorded in the floor. The increased displacements in the floor rocks should be expected when the distance between the excavation perimeter and the nearest interface of seams (layers) in the floor of a tunnel decreases. The presented results can be of use to experts in the fields of geomechanics as well as in design and construction of underground excavations.

Key words: mine support, rock bolting, salt rocks, roof displacement, sidewall displacement, floor displacement, tunnel convergence, stability of underground excavations at great depths, salt rock creep.

Acknowledgements: The study was carried out under State Contract No. NIOKTR AAAA-A18-118040690032-2 and was supported by the Russian Foundation for Basic Research and by the Perm Krai, Project No. 19-45-590004.

For citation: Toksarov V.N., Morozov I.A., Beltyukov N.L., Udartsev A.A. Deformation of underground excavations under conditions of the Gremyachinsk potassium salt deposit. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(7):113-124. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-113-124.

Введение

Изучение особенностей деформирования горных выработок является неотъемлемой составляющей безопасной разработки месторождений полезных ископаемых. Определение величин смещений (в том числе критических), скоростей деформирования породных обнажений позволяет принимать оптимальные с позиции обеспечения устойчивости решения как на этапе проектирования, так и в процессе эксплуатации горных выработок [1–3].

Гремячинское месторождение калийных солей является одним из крупнейших по запасам калийных руд в России и располагается в 170 км к юго-западу от г. Волгограда и в 20 км к северо-востоку от районного центра г. Котельниково. Месторождение приурочено к преднад-

виговой зоне Приволжской моноклинали, расположенной северо-восточнее Северо-Котельниковского надвига.

В стратиграфическом разрезе сверху-вниз выделяются четвертичная, неогеновая, палеогеновая, меловая, триасовая и пермская системы. Промышленный интерес представляет сивьвинитовый пласт мощностью от 2 до 20 м, приуроченный к погожимской ритмопачке кунгурского яруса пермской системы и залегающий на глубине 1100–1300 м, что способствует интенсивному деформированию соляных пород, прочность которых на одноосное сжатие не превосходит 30–40 МПа [4].

На большей части месторождения сивьвинитовый пласт подстилают карналлитовые породы (содержание карналлита до 60%) суммарной мощностью до

7,0 м, прочность которых на одноосное сжатие составляет менее 10–15 МПа, что существенно осложняет проходку и поддержание выработок в устойчивом состоянии [4].

Покрывающие сильвинитовую залежь породы представлены каменной солью мощностью до 5,0 м, выше которой залегает доломит-ангидрит-галитовый пласт средней мощностью более 60,0 м, сложенный четырьмя слоями: ангидритовым, магнезит-доломит-ангидритовым, ангидрит-галитовым и доломит-ангидритовым. Доломит-ангидритовый слой прослеживается практически по всей площади месторождения и представлен переслаиванием доломита и ангидрита. Доломитовые прослойки включают тонкорассеянную примесь глины и редкие угловато-окатанные зерна кварца. Мощность доломит-ангидритового слоя изменяется от 12,0 до 38,0 м.

В отличие от соляных, ангидрит-доломитовые породы несклонны к деформациям ползучести. Близкое расположение пород с существенно отличающи-

ми деформационными характеристиками в кровле выработок приводит к возникновению концентрации напряжений в области их контакта и снижению устойчивости породных обнажений [4].

В налегающей толще прослеживается ряд водоносных горизонтов. В связи с тем, что калийные руды водорастворимы [1, 5, 6], разработка месторождения должна вестись с сохранением сплошности водозащитной толщи, которая определяется как часть разреза между кровлей промышленного пласта и нижним водоносным горизонтом. При этом граница ведения горных работ определяется по минимально допустимой мощности водозащитной толщи, равной 60 м.

Исследование деформационных процессов в окрестности породных обнажений в указанных горно-геологических условиях представляет не только научный интерес, но и большое практическое значение.

В настоящее время на месторождении ведется строительство Гремячинского

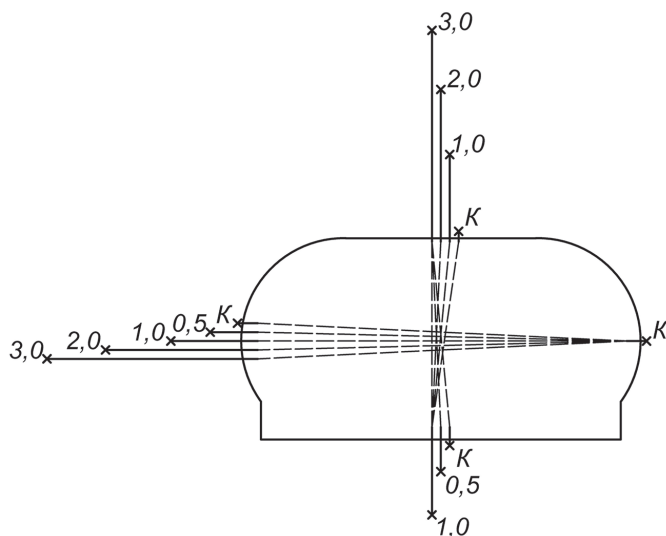


Рис. 1. Типовая схема расположения реперов замерной станции: К — контурный репер; 0,5, 1,0, 2,0, 3,0 — расстояние от контура выработки до точки закрепления глубинного репера, м

Fig 1. A typical location scheme of the measuring station points: K — contour point; 0,5, 1,0, 2,0, 3,0 — distance from the mining contour to the deep point, m

Таблица 1

**Параметры крепления
экспериментальных участков
Rockbolting parameters
on experimental sections**

№ участка	№ замерной станции	Длина анкера, м	Сетка анкерования
1	1	2,0	6 рядов 1,0×1,0 м
	2	1,8	
2	3	1,8	3 ряда 2,0×2,0 м
	4		
3	5	1,8	4 ряда 1,5×1,5 м
	6		
4	7	—	Без крепи
	8		

рудника, осуществляется проходка выработок главных направлений. Целью работы является изучение деформирования горных выработок, пройденных в соляных породах рудника, по данным натуральных наблюдений.

**Методика проведения
исследования**

Методика исследования заключалась в измерении конвергенции горных выработок, пройденных в соляных породах в один ход комбайном Урал-20Р, с последующей обработкой и анализом полученных данных. Используемый на руднике типоразмер комбайна обеспечивает проходку выработок шириной 6,0 м, высотой 3,7 м, шириной плоской части кровли — 2,4 м. Для проведения исследования было организовано 4 экспериментальных участка. На каждом участке заложено по 2 замерные станции, включающие контурные и глубинные реперы. Типовая схема заложения реперов замерной станции аналогична используемой в работах [5, 6] и изображена на рис. 1.

Измерения конвергенции (деформации) горных выработок выполнялись на экспериментальных участках ленточ-

ным экстензометром Sisgeo DNP03000 (Италия) с повторяемостью $\pm 0,15$ мм как в направлении кровля-почва, так и в направлении бок-бок на различной базе. Периодичность замеров составляла от нескольких дней в начальный период наблюдения до полугода в последующем.

Непосредственно перед выполнением первого замера экспериментальные участки 1, 2, 3 (замерные станции 1–6) были закреплены клинораспорными анкерами типа КРА-16. Закрепление указанных анкеров осуществляется механическим способом за счет распирающей замковой части (щечек) в стенки шпура при затягивании гайки на выступающем в выработку конце анкера [7]. Параметры крепления экспериментальных участков представлены в табл. 1.

На всех экспериментальных участках анкера устанавливались симметрично относительно вертикальной оси симметрии выработки. Участок 4 (замерные станции 7, 8) оставался незакрепленным на протяжении всего времени наблюдения. Первый замер на станциях 1–6 был сделан примерно спустя 50 суток с момента проходки выработок, на станциях 7, 8 — спустя 230 суток.

Принципиальное отличие исследуемых сеток анкерования (табл. 1) заключается в том, что наиболее надежно середина плоской части кровли выработки крепится при сетке соответствующей первому участку. Менее надежной является схема крепления участка 3, что связано с расположением анкеров ближе к переходу плоской части кровли в сводчатую, в то время как центральная ее часть остается незакрепленной.

**Геологическая характеристика
экспериментальных участков**

Глубина заложения экспериментальных выработок, пройденных в сильвинитовом пласте, составляет около 1100 м. Краткая геологическая характе-

Таблица 2

Геологическая характеристика экспериментальных участков
Geological characteristics of experimental sections

№ участка	№ замерной станции	Почва		Кровля		
		С, м	КС, м	С, м	КС, м	КС+А, м
1	1	0,1–0,2	0,1–0,3	-	0,4–0,5	0,4–0,5
	2				1,1–1,2	
2	3	1,7–1,8	0,7–0,8	-	-	1,2–1,3
	4					
3	5	0,6–0,7	0,5–0,6	-	-	0,8–0,9
	6					
4	7	1,9–2,0	> 7,0	1,7–1,9	1,9–2,0	-
	8					

* С – сильвинит; КС – каменная соль; КС+А – каменная соль с прослоями ангидрита

ристка экспериментальных участков представлена в табл. 2, где слева направо указаны мощности слоев (пластов), слагающих почву, кровлю выработок, от контура вглубь массива.

Породы почвы экспериментальных участков сложены сильвинитом и каменной солью. Ниже пласта каменной соли залегают карналлитовые породы. Наименьшая мощность сильвинитовой пачки в почве прослеживается на участках 1 и 3 и составляет, соответственно, не более 0,2 и 0,7 м, в то время как на участках 2 и 4 достигает 1,7–2,0 м.

Стенки экспериментальных выработок представлены соляными породами.

В выработке на экспериментальном участке 1 в сводчатой части кровли отмечается прихватывание каменной соли, на участках 2 и 3 – каменной соли с прослоями ангидрита. На экспериментальном участке 4 в кровле была оставлена пачка сильвинита мощностью более 1,7 м.

Наименьшая суммарная мощность соленосных отложений в кровле прослеживается на замерной станции 1 и экспериментальном участке 3 и составляет не более 1,0 м. В то время как на экспериментальном участке 4 дости-

гает 3,9 м. При указанной мощности соленосных отложений замки анкеров на закрепленных экспериментальных участках 1–3 попадают в ангидритодоломиты, которые обладают существенно более высокими прочностными характеристиками, чем соляные породы.

Результаты исследования и их анализ

Горизонтальная конвергенция горных выработок

Результаты замеров горизонтальной конвергенции по контурным реперам представлены на рис. 2. Общий вид зависимостей (рис. 2) является типичным для выработок (подземных сооружений) в соляных породах [8, 9].

Зависимости конвергенции по данным станций 7, 8 (участок 4) на протяжении всего времени исследования имеют близкий к линейному характер (рис. 2, линии 7, 8), что соответствует выходу вмещающих выработку пород до начала исследования на стадию установившейся ползучести [8, 10, 11]. Накопленные смещения (конвергенция) породного контура за период исследования на замерном участке 4 имеют наименьшие значения, что объясняется более ран-

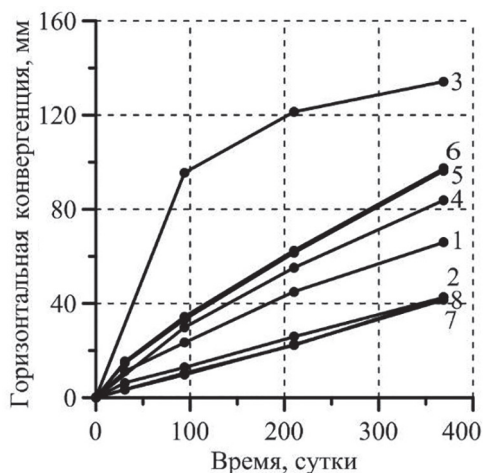


Рис. 2. Зависимости горизонтальной конвергенции горных выработок от времени: 1...8 – номера замерных станций

Fig 2. Relationship of the horizontal mining convergence-time: 1...8 – numbers of measuring stations

ним временем проходки выработки. Замерные станции 1–6 характеризуются снижением скорости смещения породного контура с течением времени, что соответствует постепенному выходу боков выработок на стадию установившей-

ся ползучести [8, 10, 11]. Сопоставляя накопленные смещения (конвергенцию) стенок выработок на замерных станциях 1, 2, 4–6 (рис. 2), нетрудно заметить, что минимальные величины смещений стенок наблюдаются на замерных станциях 1, 2, в то время как наибольшие смещения характерны для станций 5, 6 с менее надежным креплением плоской части кровли экспериментальной выработки (табл. 1). При этом однозначного соответствия между геологическим строением вмещающих пород (табл. 2) и характером деформирования боков выработок (рис. 2) на сегодняшний день не установлено.

Отдельно стоит обратить внимание на конвергенцию боков выработки по данным замерной станции 3. На графике (рис. 2, линия 3) наблюдается резкое увеличение смещения (конвергенции) между первым и вторым замерами. На рис. 3 представлены зависимости горизонтальной конвергенции на различной базе от времени на экспериментальном участке 2 (замерные станции 3, 4). По

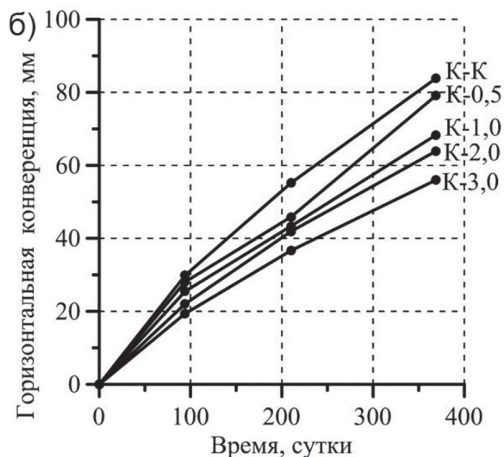
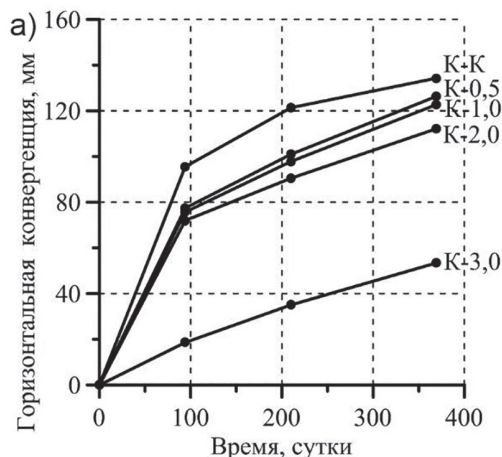


Рис. 3. Зависимость горизонтальной конвергенции горных выработок на экспериментальном участке 2 от времени: замерная станция 3 (а); замерная станция 4 (б); К – контурный репер; 0,5, 1,0, 2,0, 3,0 – расстояние от контура выработки до точки закрепления глубинного репера, м

Fig. 3. Relationship of the horizontal mining convergence-time on the experimental section 2: a) measuring station 3; b) measuring station 4; К – contour point; 0,5, 1,0, 2,0, 3,0 – distance from the mining contour to the deep point, m

данным рис. 3, а видно, что на расстоянии 3,0 м вбок от контура выработки массив деформируются обособленно от пород, залегающих на расстоянии 0–2,0 м от контура. Указанный факт позволяет сделать предположение о том, что на экспериментальном участке 2, в месте заложения замерной станции 3, в боку выработки образовалась трещина на расстоянии 2–3 м от породного обнажения. На замерных станциях 1, 2, 4–8 смещения реперов в боках носило согласованный характер. В качестве примера приводятся результаты замеров на станции 4 (рис. 3, б).

В табл. 3 представлены скорости смещения боков, которые определялись как половина скорости горизонтальной конвергенции по данным соответствующих замерных станций. Скорости горизонтальной конвергенции определялись по результатам предпоследнего и последнего замеров (рис. 2).

Сопоставляя скорости смещения боков (табл. 3) с геологическим описанием (табл. 2) и параметрами крепления экспериментальных участков 1–3, можно прийти к следующим выводам:

- на сегодняшний день однозначно соответствия между геологическим строением вмещающих пород и скоростью смещения боков выработок установить не удается;
- наименьшая скорость смещения боков характерна для выработок, пройденных в более ранний период времени (экспериментальный участок 4), а также для выработок с более надежным креплением плоской части кровли (табл. 1, экспериментальные участки 1, 2).

Вертикальная конвергенция горных выработок

В связи с тем, что кровля и почва выработок экспериментальных участков представлены породами (табл. 2) с существенно отличающимися физико-

Таблица 3

Скорость смещения боков выработок *Displacement rate of the workings' sides*

№ участка	№ замерной станции	Скорость смещения, мм/мес.
1	1	1,98
	2	1,58
2	3	2,56
	4	2,71
3	5	3,29
	6	3,29
4	7	1,80
	8	1,92

механическими свойствами [12], вертикальная конвергенция разделялась на составляющие смещений кровли и почвы.

Для выделения величины смещений почвы из вертикальной конвергенции выработок в качестве опорного репера был принят глубинный репер в кровле длиной 3,0 м (рис. 1). Закрепление указанного репера на расстоянии 3,0 м от породного контура обеспечивало попадание его замка на экспериментальных участках 1–3 в ангидритовые породы (табл. 2). На замерных станциях 7, 8 участок закрепления репера располагался в соляных породах. На основании того, что ангидритовые породы по сравнению с соляными существенно менее склонны к деформированию [12], смещениями глубинного репера в кровле, при анализе смещений пород почвы, можно пренебречь.

Величина смещений контура выработки в кровле определялась путем вычитания смещений почвы из конвергенции кровля-почва.

Зависимости смещения почвы, кровли на контуре горных выработок от времени представлены на рис. 4. Из-за того, что часть реперов в кровле выработок на экспериментальных участках 1, 2 была повреждена вследствие постоянной ра-

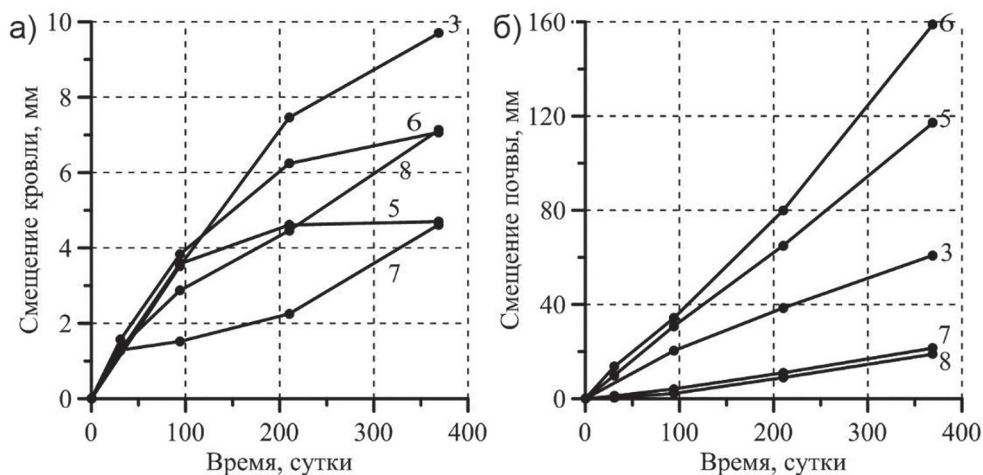


Рис. 4. Зависимости смещения контура горных выработок от времени: смещение кровли (а); смещение почвы (б); 3, 5... 8 — номера замерных станций

Fig 4. Relationships of the mining contour displacement–time: a) the roof displacement; b) the floor displacement; 3, 5... 8 — measuring station numbers

боты техники, результаты исследования смещения почвы, кровли на замерных станциях 1, 2, 4 не приводятся.

На качественном уровне зависимости рис. 4 аналогичны представленным в работах [12–14]. В количественном отношении обращают на себя внимание существенно меньшие величины смещений контура кровли по сравнению с почвой выработок (рис. 4), что вероятнее всего связано с залеганием в основной кровле выработок мощных пластов ангидритовых пород несклонных к ползучести.

Вид кривых 7, 8 (рис. 4, а) позволяет предположить, что деформирование пород кровли незакрепленной выработки на экспериментальном участке 4 происходит с увеличивающейся скоростью, вероятно, переходя на стадию прогрессирующей ползучести, а на замерных станциях 3, 5, 6 — с уменьшающейся.

Наибольшие накопленные смещения кровли наблюдаются на замерной станции 3 (участок 2). Меньшие величины смещений характерны для станций 5, 6 (участок 3). Учитывая, что центральная

часть плоской кровли более надежно закреплена на станции 3, а в геологическом отношении (табл. 2) строение непосредственной кровли выработок на экспериментальных участках 2, 3 идентично, можно предположить, что более высокие значения накопленных смещений на станции 3 связаны с развитием трещины в боку выработки, о чем было сказано выше.

По результатам анализа зависимостей рис. 4, б можно сделать вывод о том, что практически сразу после проходки выработок породы почвы переходят в стадию установившейся ползучести и перемещаются в сторону выработки с постоянной скоростью. Наименьшие накопленные смещения почвы за период наблюдения зафиксированы на экспериментальном участке 4, что связано с более ранним временем проходки экспериментальной выработки.

Средние смещения почвы выработки на участке 3, по данным станций 5, 6, на дату последнего замера (рис. 4, б) составляют 138 мм, что в 2,3 раза меньше смещений на экспериментальном

Таблица 4

Скорость смещения кровли, почвы выработок
Displacement rates of the roof and mining floor

№ участка	№ замерной станции	Кровля, мм/мес.	Почва, мм/мес.
2	3	0,42	4,22
3	5	0,02	9,83
	6	0,17	14,89
4	7	0,45	1,98
	8	0,50	1,88

участке 2 (замерная станция 3). На обоих участках породы почвы представлены сильвинитом и каменной солью, ниже которых залегают карналлитовые породы. При этом суммарная мощность пачки сильвинита и каменной соли на экспериментальном участке 3 не превышает 1,3 м. На участке 2 мощность оставленной в почве сильвинитовой пачки достигает 1,8 м, каменной соли — 0,7–0,8 (табл. 2). Учитывая, что сильвинит и каменная соль имеют близкие значения показателей физико-механических свойств [7, 12, 15], основным фактором, определяющим величину смещения пород почвы, является расстояние от контура выработки до 1-й границы раздела пластов (слоев) — мощность ближайшего к контуру выработки породного слоя.

В табл. 4 представлены скорости смещения кровли и почвы выработок, которые определялись по данным соответствующих замерных станций (рис. 4).

Наименьшие скорости смещений кровли (табл. 4) наблюдаются на участке 3, что, вероятнее всего, связано с минимальной мощностью соляных отложений в кровле (табл. 2), наличием крепления и отсутствием трещин в боках в отличие от участков 2, 4.

Наибольшие скорости смещений почвы зафиксированы на участке 3, что связано с малой мощностью ближайшего к контуру выработки породного слоя.

Сопоставляя скорости смещений кровли, почвы (табл. 4), боков (табл. 3) выработок, по данным замерных станций 3, 5–8, нетрудно заметить, что наименьшие скорости смещений характерны для кровли выработок. При этом скорости смещений почвы и боков в несколько раз превосходят соответствующие скорости смещений кровли.

Заключение

На основании анализа результатов исследования деформирования горных выработок в условиях Гремячинского месторождения калийных солей удалось установить следующее:

- для всех рассмотренных экспериментальных участков, за исключением замерной станции 3 (участок 2), характерно согласованное деформирование пород боков выработок в пределах исследуемого интервала (3 м), предположительно, без разрывов сплошности;
- использованная схема заложения реперов позволяет фиксировать появление разрывов сплошности во вмещающих горные выработки породах (участок 2, замерная станция 3);
- усиление крепления центральной части плоской кровли способствует уменьшению величин и скоростей смещений не только кровли, но и боков выработок;
- наименьшие накопленные величины смещений и их скорости зафиксиро-

рованы в кровле выработок, что, вероятно, связано с залеганием в основной кровле несклонных к ползучести ангидрит-доломитовых пород;

- уменьшение суммарной мощности соляных пород в кровле выработок приводит к снижению величины и скорости смещения кровли;

- на протяжении всего времени наблюдения, смещения пород кровли закрепленных горных выработок происходило с уменьшающейся скоростью;

- отсутствие крепления горных выработок в указанных горно-геологических, горнотехнических условиях приводит к существенному возрастанию скоростей смещения породного обнажения;

- на протяжении всего времени наблюдения горизонтальная конвергенция выработок происходила с уменьшающейся скоростью, при этом смещения почвы возрастали с постоянной скоростью;

- повышенные величины смещений пород почвы следует ожидать при умень-

шении мощности ближайшего к контуру выработки породного слоя – расстояния от контура выработки до 1-й границы раздела пластов (слоев).

На сегодняшний день однозначно соответствия между геологическим строением вмещающих пород и характером деформирования боков выработок не установлено.

Дальнейшие исследования планируется сосредоточить на определении критических величин, скоростей смещений элементов горных выработок, что позволит принимать обоснованные решения, направленные на поддержание выработок в безопасном состоянии с сохранением своих технологических функций в течение необходимого срока службы.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Исследования материалов и вещества» ПФИЦ УрО РАН и ЦКП «Центр изучения свойств геоматериалов» ПНИПУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барях А. А., Самоделкина Н. А., Паньков И. Л. Разрушение водоупорных толщ при ведении крупномасштабных горных работ. Ч. I // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2012. – № 5. – С. 3–14.

2. *Agnieszka Maj* Rock-mass movement monitoring system in historical salt mines, using the example of the bochnia salt mine // *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 191. Pp. 496–503. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.209.

3. *Vining A. R., Moore M. A.* Potash ownership and extraction: Between a rock and a hard place in Saskatchewan // *Resources Policy*. 2017. Vol. 54. Pp. 71–80. DOI: 10.1016/j.resourpol.2017.09.002.

4. *Московский Г. А., Гончаренко О. П.* Минералогические показатели эволюции седиментации в калиеносном бассейне Гремячинского месторождения (Приволжская моноклиналь) // *Геология, география и глобальная энергия*. – 2012. – № 4. – С. 57–61.

5. *Evseev A., Asanov V., Lomakin I., Tsayukov A.* Experimental and theoretical studies of undermined strata deformation during room and pillar mining // *EUROCK 2018: Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses*. London, Taylor & Francis Group. 2018. pp. 985–990.

6. *Асанов В. А., Паньков И. Л., Евсеев А. В., Лобанов С. Ю., Ломакин И. С.* Экспериментальные и теоретические исследования длительной устойчивости несущих элементов камерной системы разработки калийных пластов // *Вестник Пермского научного центра*. – 2017. – № 1. – С. 8–14.

7. Прушак В. Я., Поляков А. Л. Крепление горных выработок в сложных горно-геологических условиях глубоких горизонтов калийного месторождения // Актуальные вопросы машиноведения. — 2016. — № 5. — С. 318 — 321.

8. Прушак В. Я. Деформация контура горных выработок Старобинского месторождения калийных солей при различных глубинах заложения // Доклады Национальной академии наук Беларуси. — 2016. — № 2 (60). — С. 97 — 101.

9. Guang-Chuan Liang, Xing Huang, Xing-Yu Peng, Yuan Tian, Yu-Hang Yu Investigation on the cavity evolution of underground salt cavern gas Storages // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2016. Vol. 33. Pp. 118 — 134. DOI: 10.1016/j.jngse.2016.05.018.

10. Паньков И. Л., Асанов В. А., Ударцев А. А. Изучение влияния степени нагружения и формы образцов на деформирование соляных пород при ползучести // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2013. — № 1. — С. 246 — 252.

11. Scott Duncan E.J., Lajtai E.Z. The creep of potash salt rocks from Saskatchewan // Geotechnical and Geological Engineering. 1993. Vol. 11. No 3. Pp. 159 — 184.

12. Соловьев В. А., Аптуков В. Н., Ваулина И. Б. Поддержание горных выработок в породах соленосной толщи: теория и практика. Новосибирск: Наука, 2017. 264 с.

13. Asanov V.A., Toksarov V.N., Evseev A. V., Bel'tyukov N. L. Specific roof behavior in the southern wing of the Upper Kama potash salt deposit // Journal of Mining Science. 2012. Vol. 48. No 1. Pp. 71 — 75. DOI: 10.1134/S106273914801008X.

14. Константинова С. А., Соловьев В. А., Чернопазов Д. С. Оценка напряженно-деформированного состояния соленосного массива, вмещающего одиночную выработку на кимберлитовом руднике «Интернациональный» АК АЛРОСА // Известия вузов. Горный журнал. — 2008. — № 3. — С. 59 — 63.

15. Singh A., Kumar C., Kannan L. G., Rao K. S., Ayothiraman R. Estimation of creep parameters of rock salt from uniaxial compression tests // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2018, Vol. 107. Pp. 243 — 248. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2018.04.037. **ГИАБ**

REFERENCES

1. Baryakh A.A., Samodelkina N.A., Pan'kov I. L. Aquifuge rupture under large-scale mining. Part I. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*. 2012, no 5, pp. 3 — 14. [In Russ].

2. Agnieszka Maj Rock-mass movement monitoring system in historical salt mines, using the example of the bochnia salt mine. *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 191. Pp. 496 — 503. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.209.

3. Vining A.R., Moore M.A. Potash ownership and extraction: Between a rock and a hard place in Saskatchewan. *Resources Policy*. 2017. Vol. 54. Pp. 71 — 80. DOI: 10.1016/j.resourpol.2017.09.002.

4. Moskovskiy G.A., Goncharenko O.P. Mineralogical indications of sedimentation evolution within a potassium-bearing basin in the Gremyachinskoye field (Privolzhskaya monocline). *Geologiya, geografiya i global'naya energiya*. 2012, no 4, pp. 57 — 61. [In Russ].

5. Evseev A., Asanov V., Lomakin I., Tsayukov A. Experimental and theoretical studies of undermined strata deformation during room and pillar mining. *EUROCK 2018: Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses*. London, Taylor & FrancisGroup. 2018. pp. 985 — 990.

6. Asanov V.A., Pan'kov I. L., Evseev A. V., Lobanov S. Yu., Lomakin I. S. Experimental and theoretical research of long term stability of load-carrying elements of the room-and-pillar system of potash beds. *Vestnik Permskogo nauchnogo tsentra*. 2017, no 1, pp. 8 — 14. [In Russ].

7. Prushak V. Ya., Polyakov A. L. Fixing of mine workings in complicated mining and geological conditions of the deep horizons of the potash deposit. *Aktual'nye voprosy mashinovedeniya*. 2016, no 5, pp. 318 — 321. [In Russ].

8. Prushak V. Ya. Deformation of the edge of the workings of the Starobin deposit of potash salts at different location depths. *Doklady Natsional'noy akademii nauk Belarusi*. 2016, no 2 (60), pp. 97 – 101. [In Russ].

9. Guang-Chuan Liang, Xing Huang, Xing-Yu Peng, Yuan Tian, Yu-Hang Yu Investigation on the cavity evolution of underground salt cavern gas Storages. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2016. Vol. 33. Pp. 118 – 134. DOI: 10.1016/j.jngse.2016.05.018.

10. Pan'kov I. L., Asanov V. A., Udartsev A. A. The research on the influence of load degree and sample shape on salt rock deformation during creeping. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2013, no 1, pp. 246 – 252. [In Russ].

11. Scott Duncan E. J., Lajtai E. Z. The creep of potash salt rocks from Saskatchewan. *Geotechnical and Geological Engineering*. 1993. Vol. 11. No 3. Pp. 159 – 184.

12. Solov'ev V. A., Aptukov V. N., Vaulina I. B. *Podderzhanie gornyykh vyrabotok v porodakh solenosnoy tolshchi: teoriya i praktika* [Maintenance of mine workings in salt-bearing rocks: Theory and practice], Novosibirsk, Nauka, 2017, 264 p.

13. Asanov V. A., Toksarov V. N., Evseev A. V., Bel'tyukov N. L. Specific roof behavior in the southern wing of the Upper Kama potash salt deposit. *Journal of Mining Science*. 2012. Vol. 48. No 1. Pp. 71 – 75. DOI: 10.1134/S106273914801008X.

14. Konstantinova S. A., Solov'ev V. A., Chernopazov D. S. Assessment of the stress-strain state of the saline massif containing a single mine at the International kimberlite mine of AK ALROSA. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*. 2008, no 3, pp. 59 – 63. [In Russ].

15. Singh A., Kumar C., Kannan L. G., Rao K. S., Ayothiraman R. Estimation of creep parameters of rock salt from uniaxial compression tests. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2018, Vol. 107. Pp. 243 – 248. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2018.04.037.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Токсаров Валерий Николаевич¹ – канд. техн. наук,
старший научный сотрудник,

Морозов Иван Александрович¹ – инженер,
e-mail: imorozov.work@yandex.ru,

Бельтюков Николай Леонидович¹ – канд. техн. наук,
научный сотрудник,

Ударцев Артем Александрович¹ – младший научный сотрудник,
¹ Горный институт Уральского отделения РАН.

Для контактов: Морозов И.А., e-mail: imorozov.work@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

V.N. Toksarov¹, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher,

I.A. Morozov¹, Engineer, e-mail: imorozov.work@yandex.ru,

N.L. Beltyukov¹, Cand. Sci. (Eng.), Researcher,

A.A. Udartsev¹, Junior Researcher,

¹ Mining Institute of Ural Branch, Russian Academy of Sciences,
614007, Perm, Russia.

Corresponding author: I.A. Morozov, e-mail: imorozov.work@yandex.ru.

Получена редакцией 10.03.2020; получена после рецензии 09.04.2020; принята к печати 20.06.2020.

Received by the editors 10.03.2020; received after the review 09.04.2020; accepted for printing 20.06.2020.

