

Л.О. Тенисон

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В УСЛОВИЯХ ЗАТОПЛЕННОГО РУДНИКА БКПРУ-1

Горные выработки затопленного в период 2007–2009 гг. рудника БКПРУ-1 расположены непосредственно под многоэтажной застройкой г. Березники. Развитие города планируется на десятилетия вперед, поэтому важно прогнозирование развития процесса сдвижения земной поверхности на перспективу. На основании обработки и систематизации результатов наблюдений за сдвижением земной поверхности над горными работами рудника БКПРУ-1 до и после затопления рудничного пространства методом повариантного сравнения скоростей оседаний в различные периоды  $\eta^I$ ,  $\eta^{II}$ ,  $\eta^{III}$  и степени нагружения целиков  $C_1$ ,  $C_2$  установлены коэффициенты сдерживающего влияния гидростатического подпора на степень нагружения целиков в условиях затопленного рудника. По итогам проведенных исследований и с учетом мирового опыта по влиянию гидростатического подпора на динамику оседаний разработана методика прогнозирования вертикальных деформаций земной поверхности в различные периоды от начала подработки для условий затопленного рудника БКПРУ-1. На ее основе разработаны прогнозные графики нарастания оседаний земной поверхности для различных участков селитебной застройки г. Березники. Выполнены расчеты по определению накопленных и ожидаемых в перспективе деформаций целиков. На основании расчетов установлено, что в обозримом будущем ускорения процесса сдвижения на площади высотной застройки не ожидается.

Ключевые слова: сдвижение горных пород, затопление горных выработок, вертикальные деформации, геомеханическая система, параметры системы разработки, междукammerные целики, нагрузка, гидростатическое давление.

**Г**орные выработки затопленного в период с 2007 по 2009 гг. рудника БКПРУ-1 расположены непосредственно под многоэтажной застройкой г. Березники. Развитие города планируется на десятилетия вперед, в этой связи актуальной задачей является прогнозирование развития процесса сдвижения земной поверхности на далекую перспективу.

Авария и последующее затопление рудничного пространства на Березниковском руднике – одна из многих в мировом опыте освоения подземного пространства на соляных месторождениях. Подобные события случались на шахтах Германии, Польши, Канады, Франции, Западной Украины. Накопленный к настоящему времени международный опыт в области последствий аварийного затопления соляных рудников дает возможность установить некоторые общие закономерности развития деформационных процессов на земной поверхности. В тоже время, горно-геологические, гидрогеологические и горнотехнические особенности разработки определяют в каждом случае форму и динамику развития процессов сдвижения.

Над всей площадью затопленного рудника проводится постоянный мониторинг сдвижения земной поверхности. Наблюдательная станция в настоящее время состоит из 51 профильной линии грунтовых и ственных реперов, наблюдения по которым выполняются с периодичностью от 1 раза в неделю до 1 раза в год, в соответствии с фактическими скоростями оседаний. К настоящему времени накоплена база результатов измерений, позволяющая путем обработки и систематизации результатов до и после затопления рудничного пространства разработать методику определения оседаний земной поверхности в различные периоды. Ввиду сложности прогнозирования для условий нескольких пластов на первом этапе исследований разработана методика для условий подработки одним сильвинитовым пластом.

На рудниках ВКМКС наибольшее распространение получила камерная система разработки, которая предполагает поддержание толщи горных пород на междукамерных целиках (МКЦ) различной степени устойчивости. Показателем степени устойчивости целиков является коэффициент степени нагружения МКЦ ( $C$ ), определяемый отношением действующей на целик нагрузки к его несущей способности. Чем больше значение степени нагружения – тем быстрее наступают деформации целиков и выше скорость деформирования (в зависимости от высоты целика). Таким образом, скорость оседаний земной поверхности от влияния подработки в нормальных условиях определяется двумя показателями: высотой оставленных целиков и степенью их нагружения. В период затопления рудника и по его окончании скорость оседания земной поверхности изменяется в результате растворения приконтурной части целиков, а затем от влияния давления рассолов, заполнивших выработки.

Отработка запасов калийно-магниевого солей на руднике БКПРУ-1 проводилась с различными горно-геологическими и горнотехническими условиями как в части параметров камер и целиков, так и в сочетании обрабатываемых пластов: один сильвинитовый пласт, два сильвинитовых пласта, сильвинитовый и карналлитовый пласты. Под городской застройкой горные работы выполнены по одному сильвинитовому пласту с оставлением целиков высокой степени устойчивости. Под большей частью многоэтажной застройки произведена закладка выработок. Многообразие вариантов отработки выразилось в различии динамики протекания процесса сдвижения на земной поверхности. Еще до события аварии на шахтном поле сформировалось несколько локальных мульд сдвижения с высоким показателем оседания земной поверхности – от 0,7 до 1,5 м в границах городской застройки, и до 3,5–4,0 м за ее пределами. На одном из этих участков произошел прорыв водозащитной толщи, послуживший причиной затопления рудничного пространства.

С самого начала аварии были разработаны прогнозы развития во времени оседаний земной поверхности с учетом выщелачивания целиков для различных участков шахтного поля. В основу методики прогнозирования скоростей оседаний в условиях затопления было положено определение степени нагружения целиков измененной формы, вызванное намоканием приконтурной части целика. Кроме того, учитывался характер развития процесса оседания земной поверхности до затопления, который опосредованно отражал такие важные горнотехнические и геологические характеристики, как состояние целиков к моменту затопления, прочностные свойства пород, слагающих целики, состояние заледочного массива. Ввиду того, что предлагаемая методика нигде не апробировалась и является теоретическим предположением, при разработке графиков нарастания оседаний земной поверхности на начальном этапе уменьшение скоростей оседания за счет давления рассола после заполнения рудника не учитывалось, как бы принималось «в запас».

На настоящем этапе, когда по прошествии семи лет с момента затопления накоплен значительный объем данных, полученных по результатам мониторинга, настала необходимость в оценке результатов наблюдений и разработке методики прогнозирования процессов сдвижения.

Здесь необходимо отметить, что прогнозирование возможно выполнить не для всех участков шахтного поля. Наиболее

непредсказуемо оседания протекают на площади, подработанной карналлитовым пластом. До настоящего времени на локальных участках выявляются положительные значения градиента скоростей оседаний.

На участках, где целики достигли уровня критических деформаций и начали ускоренно деформироваться, влияние затопления и гидростатического подпора проявляется в наибольшей степени. Учесть такое влияние не представляется возможным.

Данные мирового опыта изучения последствий затопления калийных рудников [1, 2, 3] чрезвычайно актуальны для понимания и прогнозирования процессов, происходящих на территории, подработанной БКПРУ-1: «во многих случаях затопленный рудник характеризуется большей устойчивостью, нежели тот же рудник до затопления. В конце процесса затопления, когда шахтные стволы заполнены рассолом, давление жидкости существенно возрастает от атмосферного перед затоплением до уровня 0,5 – показателя литостатического давления на глубине шахты после ее затопления».

Основные выводы, принятые для разработки методики прогнозирования оседаний земной поверхности в условиях БКПРУ-1:

- заполнение выработок насыщенным рассолом приводит к уменьшению нагрузки на целики в результате действия Архимедовых сил приблизительно вдвое;
- влияние уменьшения нагрузки может компенсироваться уменьшением прочности солей при замачивании;
- определяющее значение на скорость оседаний земной поверхности имеет коэффициент запаса (степень нагружения) целиков. При запасе прочности более 2,5 межкамерные целики относятся к жестким. Они не разрушаются, а переходят в новое устойчивое состояние. Принятый на рудниках запас мощности обеспечивает устойчивость целиков на сотни лет. Оседание земной поверхности, вызванное деформациями целиков, проходит со скоростью 10–20 мм/год.

Для детального рассмотрения закономерностей развития процесса сдвижения в период заполнения рудника рассолами и в последующий период стабилизации оседаний, на рисунке (см. Приложение) шахтное поле БКПРУ-1 разбито на зоны с различными горно-геологическими и горнотехническими условиями.

Сравнение показателей динамики процесса сдвижения на разных участках в различные временные периоды приведено в табл. 1. Как показывает сравнение, скорости оседаний при затоплении рудничного пространства возрастали в разы и, со-

Таблица 1

*Фактические скорости оседаний земной поверхности в различные периоды*

Зона	Дата подработки	Дата начала наблюдений	Репер	Профильная линия	Панель	Фактические скорости оседаний, мм/год		
						до затопл. $\eta'_I$	во время затопл. $\eta'_{II}$	после затопл. $\eta'_{III}$
1	1977	2008	39	41	1бис ВП	0	0	3
	1978–1980	2002	1, 10	26	1 ВП	13	18, 14	5
2	1966	2008	68	41	3 ВП	2	4	2
	1971		36, 37	3	2 ВП	1	10	0
	1974–1976	2008	1, 7	42	4 ВП	7	41, 28	4–6
14			4 ВП		7	35	7	
3	1978	1982	1	12	5 ВП	48	95	19
3'	1984	2008	7	43	2 ВП	7	74	11
			11		2 ВП	8	61	11
			30	29	2 ВП	5	75	14
3''	1979–1981	2008	11, 15	38	3 ВП	6	60	8
4	1981	2002	4	27	1бис ВП	43	48	21
	1975	2002	30, 32	26	1 ВП	20	36	16
4'	1984	2008	37	29	3 ВП	6	79	17
			24	42	3 ВП	6	48	15
6	1966–1969	2008	57	41	1 ВП	2	4	2
7	1984	1990 2006	26 4–7	20 28	1 ВП	4 3	5 10	0
8	1981	2008	21, 22	37	3 ВП	5	14	4
9	1982	2008	6	37	2 ВП	5	8	1
11	2004	1985	31	10	2бис ВП	2	4–6	0
	2004	2008	21	39	4бис ВП	1	1	0
	2001	2008	14	41	3бис ВП	2	0	1
	2003	2010	21	47	2бис ВП	2	5	0
19	1998	2002	23–27	33	11 ЮЗП	2	150	3
20	1973	1996	56	23	3 ВП	23	36	2
26	1986	1991	25	21	4 ЗП	23	69	12

ответственно, снизились после полного затопления рудника. На отдельных участках за последние семь лет оседания не установлены.

Приведенные заключения подтверждают результаты исследований зарубежных авторов [1]: «фактор повышения давления в шахте сильнее увеличения объема полости и снижения площади сечения целика». Утверждение подкреплено как математическими расчетами, так и данными фактических наблюдений после затопления нескольких рудников. Так, к примеру, на руднике Джеферсон Айленд скорость оседания поверхности, которая замерялась в течение 7 лет до затопления рудника и в течение 2 лет после затопления рудника, снизилась на порядок величины после затопления рудника.

Согласно исследованиям Я.М. Семчука [2], затопление соляных шахт насыщенными рассолами полностью предупреждает оседание земной поверхности вследствие деформаций межкамерных целиков, если запас их прочности превышает 1,7.

Наблюдения за оседанием земной поверхности над старыми затопленными выработками показывают, что деформации не прекращаются, хотя и проходят очень медленно, со скоростью в несколько миллиметров в год. Так, на участке Восточная Голинь, максимальное суммарное оседание за двадцать лет составило 0,35 м, а на участке Сивка Калушская 0,15 м [3].

В табл. 2 приведены параметры ведения горных работ и выполнен расчет степени нагружения целиков на выбранных участках, подработанных одним сильвинитовым пластом, для трех периодов: до, во время и после затопления рудничного пространства. При проведении расчетов принимались данные исследований ФМС пород, проводимых в разные годы специалистами ОАО «Галургия».

Методом повариантного сравнения скоростей оседаний в различные периоды  $\eta'_I$ ,  $\eta'_{II}$ ,  $\eta'_{III}$  и степени нагружения целиков  $C_I$ ,  $C_{II}$  определен коэффициент сдерживающего влияния гидростатического подпора на степень нагружения целиков в условиях затопленного рудника. Он составляет:

- для условий заложенных выработок  $k_r = 0,75$ ;
- для условий незаложенных выработок  $k_r = 0,60$ .

Установленные показатели превышают значения, приводимые другими исследователями, но сопоставимы с ними.

По итогам проведенных исследований разработана методика прогнозирования вертикальных деформаций земной поверхности для условий затопленного рудника БКПРУ-1.

Таблица 2

*Расчет степени нагружения целиков в зонах с различными горнотехническими параметрами по пласту КрII в различные периоды затопления*

Зона	Дата подработки	А	Панель	Ширина камер а, м	Ширина целика в, м	Мощность пласта т, м	Глубина до кровли пласта Н, м	Глубина выщелачивания $l_{\text{выщ.}}$ , м	Степень нагружения		
									до затопления $C_I$	во время затопления $C_{II}$	после затопления $C_{III}$
1	1977	0,80	1бис ВП	16	10	7,0–8,0	210–230	0,55	0,30	0,38	0,29
	1978–1980	0,72	1 ВП	16	10	7,3	245	0,64	0,34	0,38	0,30
2	1966	0,80	3 ВП	16	10	7,5	230	0,55	0,28	0,34	0,26
	1971	0,80	2 ВП	16	10	8,0	200	0,55	0,27	0,36	0,25
	1974–1976	0,80	4 ВП	16	10	7,0–8,0	215–250	0,55	0,33	0,44	0,31
		0,80	4 ВП	16	10	7,0–8,0	235–250	0,55	0,33	0,44	0,31
3	1978	0	5 ВП	16	10	6,5–7,0	220–240	1,54	0,30	0,53	0,28
3'	1984	0	2 ВП	16	10	6,5	244	1,54	0,32	0,52	0,29
		0,69	2 ВП	16	10	6,5	244	0,67	0,32	0,42	0,29
		0	2 ВП	16	10	6,4	244	1,54	0,32	0,52	0,29
3''	1979–1981	0	3 ВП	16	10	8,1	245	1,54	0,31	0,54	0,31
4	1981	0,41	1бис ВП	16	10	6,6	270	1,01	0,36	0,50	0,38
	1975	0,78	1 ВП	16	10	7,0	245	0,78	0,35	0,44	0,31
4'	1984	0,90	3 ВП	16	10	6,2	231	0,46	0,30	0,41	0,29
		0,90	3 ВП	16	10	6,4	231	0,46	0,31	0,41	0,29
6	1966–1969	0,70	1 ВП	16	10	7,8	180	0,66	0,24	0,32	0,24
7	1984	0,80	1 ВП	14	14,5	6,5	279	0,49	0,25	0,29	0,20
8	1981	0,80	3 ВП	14	14,5	7,5–8,0	210	0,49	0,21	0,23	0,19
9	1982	0	2 ВП	14	14,5	6,5	274	1,35	0,24	0,33	0,17

11	2004	0	2бис ВП	10	11,5	7,2	275	0,96	0,24	0,33	0,18
	2004	0,80	4бис ВП	10	8,5	6,1	240	0,35	0,26	0,30	0,22
	2001	0,75	3бис ВП	11,3	9,7	7,0	235	0,43	0,25	0,30	0,22
	2003	0	2бис ВП	10	10,5	7,0	275	0,96	0,26	0,35	0,19
19	1998	0	11 ЮЗП	11,3	11,7	6,0	310	1,09	0,25	0,34	0,17
20	1973	0,85	3 ВП	14,9	7,0	7,0–8,0	210	0,47	0,41	0,49	0,36
26	1986	0,75	4 ЗП	11,3	9,0	5,6	334	0,43	0,40	0,48	0,33

Для прогнозирования нарастания оседаний земной поверхности выделим три периода с различной динамикой протекания процесса сдвижения:

- I – период от начала подработки рассматриваемой площади до начала затопления расположенных под ней выработок подземными водами  $T_I$ ;
- II – от начала до полного затопления расположенных под ней выработок подземными водами  $T_{II}$ ;
- III – период после полного затопления рудника до необходимой даты расчета оседания земной поверхности  $T_{III}$ .

В общем случае (в период  $T_I$ ) расчетная степень нагружения междукамерных целиков выражает отношение действующей нагрузки к его несущей способности и определяется по формуле [4]:

$$C_I = \frac{\gamma l H_0}{\vartheta \sigma_n} \quad (1)$$

где  $\gamma$  – объемный вес налегающей толщи пород ( $\gamma = 2,2$  тс/м<sup>3</sup>);  $l$  – межосевое расстояние;  $H_0$  – максимальное значение расстояния от земной поверхности до кровли целиков на рассматриваемом участке отработки;  $\vartheta$  – расчетная ширина междукамерных целиков;  $\sigma_n$  – расчетная прочность пород.

В период затопления рудничного пространства ( $T_{II}$ ) и растворения приконтурной части целиков изменяются их геометрические размеры, следовательно, их несущая способность. Определение степени нагружения целиков  $C_{II}$  в период затопления рудничного пространства выполняется по формуле

$$C_{II} = \frac{\gamma l H_0}{(\vartheta - l_{\text{выщ}}) \cdot \sigma_n}, \quad (2)$$

где  $l_{\text{выщ}}$  – определяется в соответствии с методиками, разработанными в ОАО «Галургия», в зависимости от ширины камер и целиков.

Значение степени нагружения целиков  $C_{III}$  после полного затопления рудника определяется ( $T_{III}$ ) по формуле:

$$C_{III} = k_z \frac{\gamma l H_0}{(\beta - l_{выщ}) \cdot \sigma_n}, \quad (3)$$

где  $k_r = 0,6$  – для незаложенных камер,  $k_r = 0,75$  – для заложённых камер.

Скорость оседания земной поверхности от влияния подработки в каждый временной период определяется по формуле

$$\eta_i' = \beta \cdot \exp[\alpha(1 - C_i)] \cdot m_i \quad (4)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  – коэффициенты аппроксимации,  $\alpha = -13,822$ ;  $\beta = 8,2312$ ;  $m$  – высота целика на рассматриваемый период времени;  $C_i$  – степень нагружения целика на рассматриваемый период времени.

Оседание земной поверхности до затопления рудничного пространства определяется из выражения

$$\eta_i = \eta_i' \cdot T_i \quad (5)$$

где  $\eta_i'$  – скорость оседания в каждый из периодов.

Достигнутая величина оседаний на необходимый срок определяется суммированием оседаний, установленных за каждый период.

Для оценки негативного влияния процесса сдвижения на подработанные объекты необходимо установить вероятность ускорения оседаний земной поверхности в период их эксплуатации.

Определение деформаций целиков, достигнутых на период окончательного затопления рудника, производится по формуле

$$\varepsilon_d = 100 \cdot \beta \exp[\alpha(1 - C_I)] \cdot T_I + 100 \cdot \beta \exp[\alpha(1 - C_{II})] \cdot T_{II}. \quad (6)$$

Определение величины критических деформаций целиков производится по формуле

$$\varepsilon_{кр} = c_{пл} \cdot b/m \quad (7)$$

где  $c_{пл}$  – принятый коэффициент условий пласта;  $c_{пл} = 5,6$  для пласта АБ,  $c_{пл} = 7,8$  для пласта КрII.

Определение срока устойчивого состояния целиков выполняется из выражения

$$\theta_{кр} = \frac{\varepsilon_{кр} - \varepsilon_d}{100 \cdot \beta \exp[\alpha(1 - C_{III})]} \quad (8)$$

При условии

$$\theta_{\text{кр}} > T_I + T_{II} + T_{III} \quad (9)$$

– ускорения процесса сдвижения в период эксплуатации объекта не ожидается.

При условии

$$\theta_{\text{кр}} < T_I + T_{II} + T_{III} \quad (10)$$

– ускорение процесса сдвижения ожидается в период эксплуатации объекта.

Рассмотрим пример расчета прогнозируемых скоростей оседаний для зоны 9. Участок расположен в восточной части шахтного поля. Оработка пласта КрII проводилась в 1982, 1983, 1986 гг. Параметры отработки и показатели степени нагружения целиков приведены в табл. 2.

Скорость оседания земной поверхности от влияния подработки:

- до затопления

$$\eta_I' = \beta \exp[\alpha(1 - C_I)] m_I = 8,2312 \cdot \exp[-13,822 \cdot (1 - 0,24)] \cdot 8,20 \cdot 1000 = 3,5 \text{ мм/год;}$$

- в период затопления

$$\eta_{II}' = \beta \exp[\alpha(1 - C_{II})] m_{II} = 8,2312 \cdot \exp[-13,822 \cdot (1 - 0,33)] \cdot 8,20 \cdot 1000 = 10 \text{ мм/год;}$$

- после затопления

$$\eta_{III}' = \beta \exp[\alpha(1 - C_{III})] m_{III} = 8,2312 \cdot \exp[-13,822 \cdot (1 - 0,17)] \cdot 8,20 \cdot 1000 = 2 \text{ мм/год.}$$

Суммарное оседание земной поверхности:

- до затопления рудничного пространства

$$\eta = \eta_I'(T_I - T_0) = 3,5 \cdot (2006 - 1982) = 84 \text{ мм;}$$

- во время затопления рудника

$$\eta_{II} = \eta_{II}'(T_{II} - T_I) = 10 \cdot (2009 - 2006) = 30 \text{ мм;}$$

- в период после полного затопления рудника до 2014 года

$$\eta = \eta'(T_{III} - T_{II}) = 2 \cdot (2014 - 2009) = 10 \text{ мм.}$$

Расчетное суммарное оседание составляет  $\sum \eta = 124$  мм, фактически измеренное оседание  $\eta = 140$  мм. Расчеты показали хорошую сходимость результатов.

Определим вероятность ускорения процесса сдвижения.

Достигнутые деформации целиков на период окончательного затопления рудника

$$\begin{aligned}\varepsilon_d &= 100 \cdot \beta \exp[\alpha(1 - C_I)] \cdot T_I + 100 \cdot \beta \exp[\alpha(1 - C_{II})] \cdot T_{II} = \\ &= 823,12 \cdot \exp[-13,822(1 - 0,23)] \cdot 24 + \\ &+ 823,12 \cdot \exp[-13,822(1 - 0,32)] \cdot 3 = 0,6759.\end{aligned}$$

Величина критических деформаций целиков

$$\varepsilon_{кр} = c_{пл} \cdot b/m = 7,8 \cdot 14,5/8,20 = 13,79.$$

Срок устойчивого состояния целиков

$$\begin{aligned}\theta_{кр} &= \frac{\varepsilon_{кр} - \varepsilon_d}{100 \cdot \beta \exp[\alpha(1 - C_{III})]} = \\ &= \frac{13,79 - 0,6759}{100 \cdot 8,2312 \exp[-13,822 \cdot (1 - 0,19)]} \approx 1500\end{aligned}$$

Как показывают расчеты, ускорения процесса сдвижения в обозримом будущем не ожидается.

На основании приведенной методики разработаны прогнозные графики нарастания оседаний земной поверхности для других участков селитебной застройки г. Березники. Выполнены расчеты по определению накопленных и ожидаемых в перспективе деформаций целиков. На основании расчетов установлено, что на период в 100 лет ускорения процесса сдвижения на площади высотной застройки не ожидается.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пьер Берест, Бенуа Бруар, Бернар Фега.* Ликвидация сухих рудников; Науч. исслед. ин-т проблем добычи полезных ископаемых способом подземного выщелачивания. Ричмонд, Техас, США / Техническая конф. 18–21 апреля 2004 г.: докл. – Уичито, шт. Канзас, США.
2. *Семчук Я.М.* Наукові та методичні основи охорони геологічного середовища в районах розробки калійних родовищ. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. – Івано-Франківськ, 1995.
3. *Крижанівський С.І., Кузьменко Е.Д., Палійчук М.В., Бараненко Б.Т.* Техногенна ситуація в районі Калуського промислового вузла // Науковий вісник ІФТУНГ. Науково-технічний журнал. – 2008. – № 2. – С. 3–9.
4. *Указания по защите рудников от затопления и охране подрабатываемых объектов в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей.* – ГИ УрО РАН, 2008. **ГИАН**

#### КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

*Тенисон Людмила Олеговна* – кандидат технических наук, зав. научно-исследовательской лабораторией геомеханики ОАО «Галургия», Березниковский филиал, e-mail: Tenison.Lyudmila@gallurgy.ru.



## PREDICTION OF VERTICAL DEFORMATIONS OF GROUND SURFACE IN CONDITIONS OF FLOODED MINE BEREZNIKI 1

Mine workings of the mine BerezniKI 1 flooded since 2007–2009 are located directly under high-rise district of the city of BerezniKI. The city development is planned for decades, in this regard a long term prediction of the evolution process of ground surface movement is a critical task. To date a huge base of monitoring results is available. Based on processing and classification of the monitoring results on ground surface movement above mining workings of the mine BerezniKI 1 before and after the flood of the mine area using a comparative method of subsidence rates in different periods  $\eta^I$   $\eta^{II}$   $\eta^{III}$  and degree of the pillars load CI, CII restraint indexes of hydrostatic head on degree of the pillars load in conditions of the flooded mine have been determined.

Based on the results of the performed studies and taking into account the world experience on the influence of hydrostatic head on subsidence process a prediction technique of vertical deformations of ground surface in different periods since the beginning of undermining for the conditions of the flooded mine BerezniKI 1 has been developed.

Based on the specified technique prediction schedules of the growth of ground surface subsidence for different sites of residential area of BerezniKI have been developed. Estimation on cumulated and expected pillars deformations has been carried out. Based on the estimation it has been determined that acceleration of the movement process in the high-rise area is not expectable in the foreseeable.

Key words: rock movement, mine workings flood, vertical deformations, geomechanical system, development system parameters, interchamber pillars, load, hydrostatic pressure.

### AUTHORS

Tenison L.O., Candidate of Technical Science,  
Chief of Research Geomechanical Laboratory of «Galurgia» OJSC, BerezniKI branch,  
618400, BerezniKI, Russia, e-mail: Tenison.Lyudmila@gallurgy.ru.

### REFERENCES

1. Berest P., Brouard B., Feuga B. *Dry Mine Abandonment. Report SMRI Spring 2004 Conference, 18–21 April 2004*, Wichita, Kansas, USA
2. Semchuk Ya. M. *Nauchnyye i metodicheskiye osnovy okhrany geologicheskoy sredy v rayone razrabotki kaliynnykh rudnikov* (Scientific and methodic foundations of geological environment protection in the area of potash mine development), Doctor's thesis, Ivanovo-Frankovsk, 1995.
3. Krizhanovskiy S.I., Kuz'menko E.D., Paliychuk M.V., Baranenko B.T. Technogenaya situatsiya v rayone Kalushskogo promyslovogo uzla. *Nauchno-tehnicheskij zhurnal «Nauchnyy vestnik IFTUNG»*, 2008, no 2, pp. 3–9.
4. *Ukazaniya po zashchite rudnikov ot zatopeniya i okhrane podrabatyvayemykh ob'ektov v usloviyakh Verkhnekamskogo mestorozhdeniya kaliynnykh soley* (Instructions for mine protection against flooding and protection of the undermined objects in conditions of Verkhnekamskoye potash salt deposit), GI Uro RAN, 2008.

