УДК 622.28:622.341.1

Г.А.МАРТЕМЬЯНОВ
ООО «Металл-групп», филиал «Яковлевский рудник»

В.И.ОЧКУРОВ, А.Б.МАКСИМОВ, Д.Н.ПЕТРОВ
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

ДЕФОРМИРОВАНИЕ РУДНОГО МАССИВА ВОКРУГ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Характер деформирования рыхлых и плотных железно-слюдковых мартитовых руд вокруг выработки с крепью КМП-А3 различен. В плотной руде процесс смещений характеризуется знакопеременными деформациями руды во времени и вглубь массива. Большая часть смещений реализуется через 10-80 сут. Размеры зоны деформаций рудного массива в лежачем боку (1,2-1,3)$R_{пр}$, в кровле (1,0-1,1)$R_{пр}$, в висячем боку (1,3-1,4)$R_{пр}$.

Приконтурная зона размером 0,8-1,5 м склонна к разрушению. Размеры зоны деформаций вмещающего рудного массива в лежачем боку (1,0-1,1)$R_{пр}$ и висячем боку (1,1-1,2)$R_{пр}$, в кровле (1,1-1,2)$R_{пр}$. Стабилизации смещений вмещающего рыхлого и плотного рудного массива не зафиксировано.

Nature of deformations around an excavation supported with KMP-A3 in the weak and dens martite ore with iron and mice inclusions is different. The displacements of the dens strata are characterized by time-dependent oscillating deformations. The majority of displacements occurs in 10-80 days. The size of deformed zone in strata in the ledge wall is (1,2-1,3)$R_{пр}$, in the roof is (1,0-1,1)$R_{пр}$, in the top wall is (1,3-1,4)$R_{пр}$.

The edge zone (0,8-1,5 m) is inclined to break. The size of deformed zone in strata in the ledge wall is (1,0-1,1)$R_{пр}$, in the top wall is (1,1-1,2)$R_{пр}$, in the roof is (1,1-1,2)$R_{пр}$. Stabilizations of displacement in the weak and dens ore strata were not observed.

Инструментальные наблюдения в экспериментальной выработке гор. –425 м позволили выявить закономерности и особенности деформирования массива железно-слюдковой мартитовой руды.

Участок экспериментальной выработки протяженностью 85 м пройден по простиранию плотной железно-слюдковой мартитовой руды с f= 1-1,5 с прослоями более крепких хлоритизированных руд. Выработка сечением в свету 11,2 м^2 в проходке 14,5 м^2 закреплена крепью КМП-А3. Наблюдения проводились на двух глубинных и четырех контурных замерных станциях.

На рис.1 представлены зависимости средних абсолютных смещений контурного репера кровли, лежачего и висячего боков выработки во времени. Наибольшие смещения имели место со стороны кровли. На графике можно выделить три периода времени, различающиеся интенсивностью смещений.

В первые 20 сут с максимальной скоростью реализовались 24 % смещений контура кровли и 37 % смещений боков выработки. Средняя скорость смещений составила: кровля – 0,3 мм/сут, бока – 0,35 мм/сут Разница между величинами скоростей не превышает 14 %, поэтому их можно считать равными.

В период 20-240 сут после проведения выработки реализовалось 32 % смещений кровли со средней скоростью 2,5 мм/мес. и 53 % смещений боков со средней скоростью 1,4 мм/мес. Отношение скоростей смещений кровля – бока составляет 1,8.

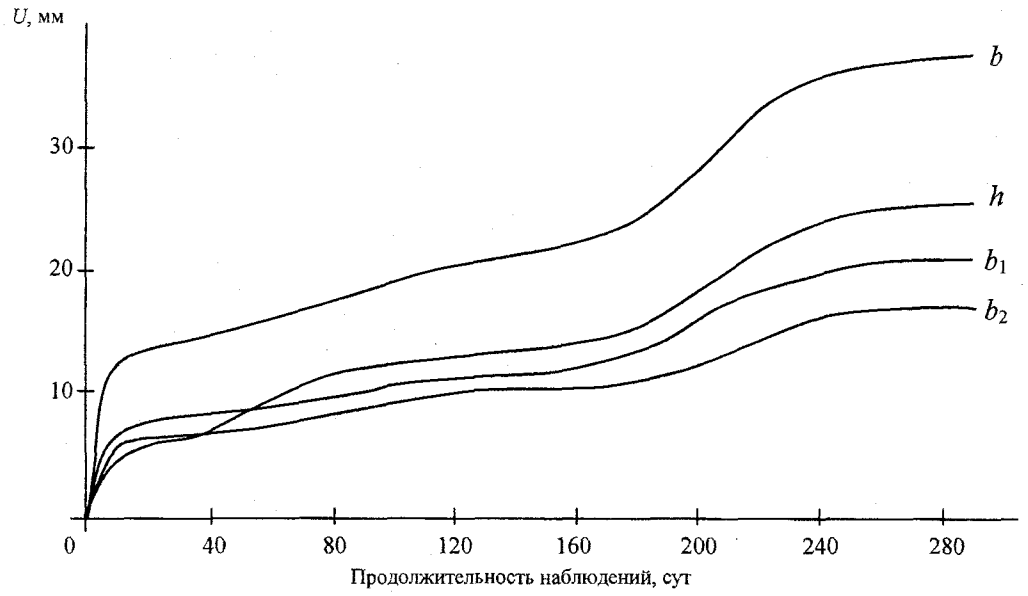


Рис.1. Средние абсолютные смещения контура выработки сечением в свету 11,2 м^2
h – кровля; b_1 – лежачий бок; b_2 – висячий бок; b – конвергенция боков

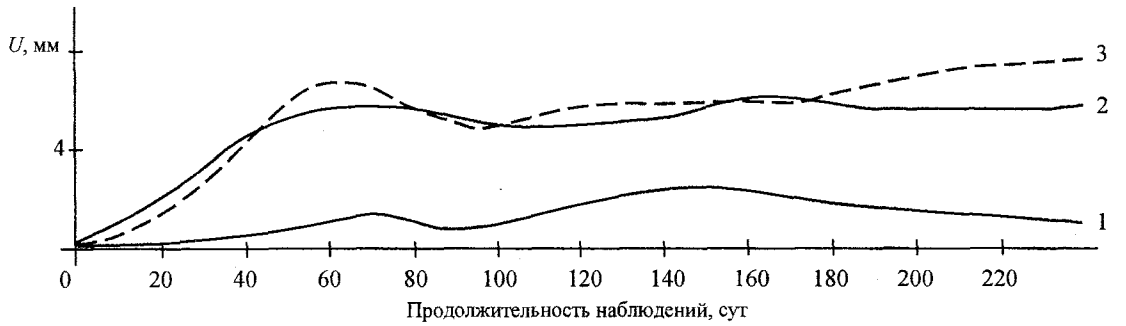


Рис.2. Смещения контурного репера лежачего бока выработки относительно глубинных реперов, расположенных на расстояниях: 1 – 0,8 м; 2 – 1,3 м; 3 – 2,0 м

Третий период характеризуется незначительным ростом смещений. Через 240 сут реализовалось 6 % смещений кровли со средней скоростью 0,9 мм/мес. и 5 % смещений боков со средней скоростью 0,6 мм/мес. Отношение скоростей смещений кровли и боков 1,5.

Наблюдения на станциях с глубинными реперами показали, что наибольшие смещения на контуре кровли превышали величину конвергенции боков выработки в среднем на 30 %. Скорость конвергенции боков примерно в два раза меньше, чем смещения кровли, и реализуются за более длительный срок (до 90 сут). Смещение контура лежачего бока составило 30 % от смещения висячего бока. В интервале 140-240 сут скорость смещения незначительна, но тенденция роста смещений сохраняется.

Руда в лежачем боку интенсивно разуплотнялась в течение 60-80 сут после проведения выработки, когда реализовалось 80-90 % смещений (рис.2). На расстоянии 1,3-2,0 м от контура смещения практически одинаковы и в два раза меньше, чем на контуре. Вместе с тем, характер процесса смещений различен. На глубине 1,3 м отмечается тенденция к стабилизации, а на глубине 2,0 м – рост смещений сохраняется.

В течение 120-160 сут после проведения приконтурная зона размером 0,7-0,8 м смещается как единый массив с незначи-

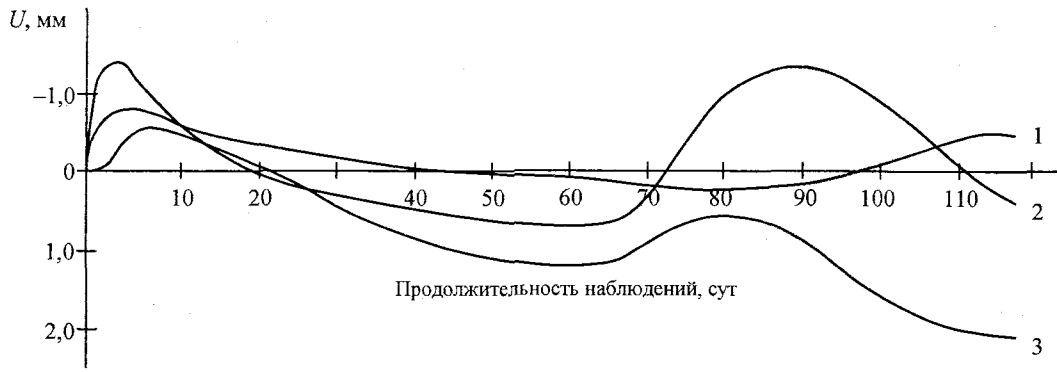


Рис.3. Смещения контурного репера висячего бока выработки относительно глубинных реперов, расположенных на расстояниях: 1 – 0,8 м; 2 – 1,3 м; 3 – 2,0 м

тельной скоростью. На участке 0,8-1,8 м смещения резко уменьшаются. С удалением от контура смещения продолжают уменьшаться, но с меньшей интенсивностью. После 60 сут на участке 0,8-1,3 м от контура выработки величины абсолютного ΔU и относительного $\Delta\varepsilon$ разуплотнения рудного массива практически не изменились и составили $\Delta U = 4 - 4{,}4$ мм, $\Delta\varepsilon = (8{,}2\text{-}9{,}0)\cdot 10^{-3}$, а на участке 1,3-2,0 м возрастают в 2,2-2,4 раза.

Вид и интенсивность деформации рудного массива изменяются с глубиной и во времени. Так, если на участке 0,8-1,3 м от контура выработки рудный массив уплотняется, то на участке 1,3-2,0 м – разуплотняется. В дальнейшем вид деформации меняется на противоположный, уменьшается ее интенсивность. Это выражается в знакопеременном волнообразном процессе деформирования рудного массива во времени и с удалением от контура выработки. Приведенные данные позволяют прогнозировать размер зоны деформирования рудного массива в лежачем боку выработки в 2,6-2,7 м или $(1{,}2\text{-}1{,}3)R_{\text{пр}}$.

Процесс смещения контура висячего бока выработки также имеет три периода времени с различным характером деформирования руды (см. рис.1). До установки замерной станции приконтурный слой рудного массива висячего бока разуплотнился (рис.3). В первые 10 сут деформация разуплотнения сменилась деформацией уплотнения с последующим (10-30 сут) снижением интенсивности деформации и переходом в деформацию разуплотнения. Сохраняется волнообразный характер смещения рудного массива. С удалением от контура выработки изменяется вид деформации рудного массива. Так, на участке 0,8-1,3 м в начальный период рудный массив уплотнялся и одновременно на участке 1,3-2,0 м – разуплотнялся. С течением времени на рассматриваемых участках вид деформаций сменился на противоположный.

В период 30-90 сут приконтурная зона размером не менее 2 м уплотнялась. Наиболее интенсивная деформация уплотнения зафиксирована на расстоянии 0,8-1,3 м от контура выработки. Скорость деформирования на участке 0,8-2,0 м изменяется во времени, оставаясь практически постоянной по длине участка.

В последующие 90-240 сут рост смещений незначительный (на 1 мм) и с постоянной скоростью. Характер смещений и деформации вмещающего рудного массива позволяют прогнозировать размер зоны деформаций в 2,8-3,0 м или $(1{,}3\text{-}1{,}4)R_{\text{пр}}$.

Смещения контурного репера кровли аналогичны смещениям висячего и лежачего боков выработки (рис.4). Также имеются три характерных периода времени: 0-20, 20-120 и 120-240 сут Наибольшая скорость смещения имела место в первые 10 сут после проведения выработки, когда реализовалось практически 50 % смещений. В дальнейшем скорость смещения уменьшилась более чем в два раза. Руда в кровле разуплотнялась с волнообразным характером деформирования.

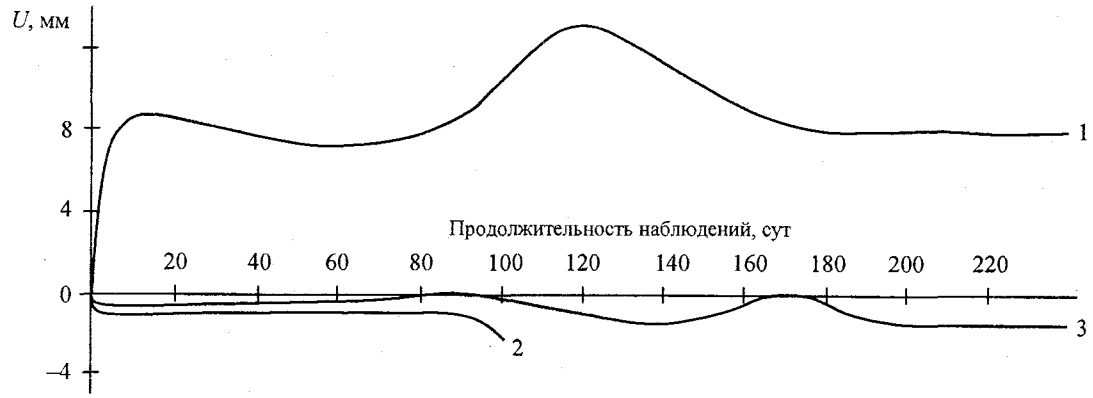


Рис.4. Смещения контурного репера кровли экспериментальной выработки относительно глубинных реперов, расположенных на расстояниях: 1 – 0,4 м; 2 – 0,9 м; 3 – 1,6 м

В первые 10 сут после проведения выработки на участке 0,4-0,9 м рудный массив практически не деформировался при одновременном росте деформаций на участке 0,9-1,6 м. Через 80-90 сут смещения контурного репера относительно реперов на глубине 0,9 м резко возросли и вызвали интенсивное разуплотнение массива. На расстоянии более 1,0-1,2 м от контура выработки скорость смещений значительно снизилась. Относительные деформации на участках 0,4-0,9 и 0,9-1,6 м отличаются друг от друга в два раза.

Таким образом, приконтурная зона размером 1,0-1,2 м или $(0,5\text{-}0,6)R_{пр}$ подвержена деформациям растяжения, близких к разрушающим, и склонна к вывалу. Размер зоны деформации рудного массива оценивается в 2,2-2,4 м или $(1,0\text{-}1,1)R_{пр}$.

Относительные деформации рудного массива в кровле более чем в два раза превышают деформации в боках выработки. Неравномерность смещений боков выработки незначительно влияет на размеры зоны деформаций рудного массива. Отношение размера зоны деформаций в боках к ширине выработки составляет 0,51-0,56, в среднем 0,53; отношение размера зоны деформаций в кровле к высоте выработки 0,81-0,94, в среднем 0,88.

На участке выработки сечением в свету 14,9 м^2 с крепью КМП-А3 в рыхлой железно-слюдковой мартитовой руде были установлены две замерные станции с глубинными реперами и две контурные замерные станции.

Процесс деформирования рыхлой руды отличается от деформирования плотной руды. Четко различаются два периода времени. После интенсивного роста смещений в первые 20 сут волнообразный знакопеременный процесс смещений заменяется линейной зависимостью смещений от времени. В лежачем боку выработки в первые 10-15 сут после ее проведения произошло 80-90 % смещений (рис.5). Значительные смещения приконтурной зоны размером до 0,8 м вызвали локальное разрушение контура на глубину до 0,4 м и возникновение бокового отпора со стороны крепи КМП-А3. Этим объясняется интенсивное уплотнение руды на участке 0-1,0 м в первые 10-15 сут с последующим снижением интенсивности деформирования и заменой на деформацию разуплотнения на участке 1,3-2,0 м. Процесс разрушения вглубь массива продолжается.

Неподвижность репера на глубине 0,8 м и сопоставимость скоростей деформирования руды на различном расстоянии от контура (уплотнение – 0,64 мм/мес., разуплотнение – 0,54 мм/мес.) подтверждает реальность рассматриваемой кинематики деформирования рудного массива лежачего бока выработки. В течение срока наблюдений смещения возрастают со скоростью 0,6 мм/мес. Через 200 сут вокруг выработки размер зоны деформаций достигает 2,4-2,6 м или $(1,0\text{-}1,1)R_{пр}$.

Через 10 сут 80-90 % смещений висячего бока реализуются с большей интенсивностью, чем в лежачем боку (рис.6). В дальнейшем скорость смещений резко снизилась

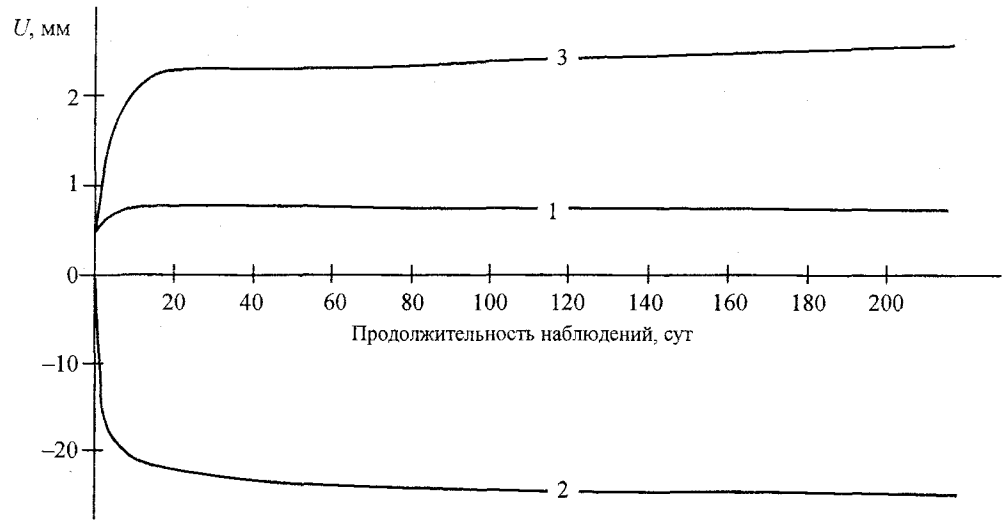


Рис.5. Смещение контурного репера лежачего бока экспериментальной выработки относительно глубинных реперов, расположенных на расстояниях: 1 – 0,8 м; 2 – 1,3 м; 3 – 2,0 м

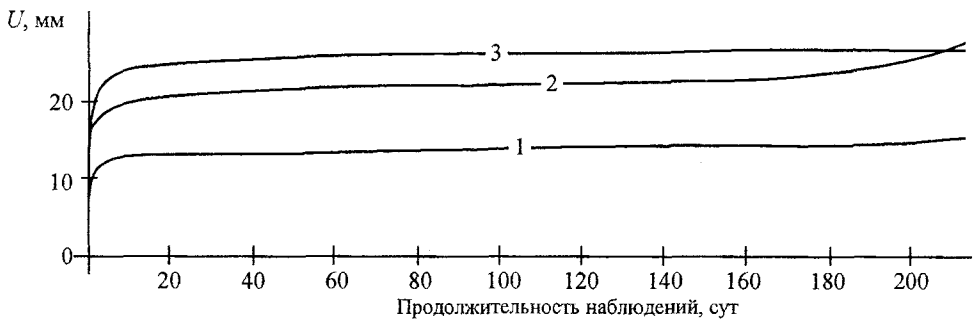


Рис.6. Смещение контурного репера висячего бока выработки относительно глубинных реперов, расположенных на расстояниях: 1 – 0,8 м; 2 – 1,3 м; 3 – 2,0 м

и составила на расстоянии от контура 0,8 м – 0,30 мм/мес., 1,3 м – 0,45 мм/мес., 2,0 м – 0,6 мм/мес. На расстоянии до 1,3 м от контура руда разуплотняется с различной интенсивностью и имеет тенденцию к разрушению. Зона деформирования рудного массива составила 2,6-2,8 м или (1,1-1,2)$R_{пр}$, что сопоставимо с размером зоны в лежачем боку выработки (1,0-1,1)$R_{пр}$. Скорости смещений реперов лежачего и висячего боков выработки также можно считать равными.

Характер смещений контурного репера кровли аналогичен смещениям лежачего бока, но имеет особенности (рис.7). Незначительные смещения приконтурной зоны рудного массива обусловлены реализацией большей части абсолютных смещений в первые сутки после проведения выработки и значительными размерами массива, подверженного деформациям.

В приконтурной зоне руда в основном разуплотняется. Величина и вектор скорости деформирования изменяются в течение 160 сут после проведения выработки. Затем деформации развиваются с незначительной скоростью. Размер зоны деформаций составит не менее 2,8-3,0 м или (1,2-1,3)$R_{пр}$.

Как отмечалось ранее, основные смещения рыхлого рудного массива происходят в первые сутки после проведения выработки. Так, величины абсолютных смещений контура кровли через 20 сут для репера на глубине 1,4 м-122 мм составили 72 %, на глубине 2,0 м-46 мм – 54 % (рис.8). Скорость смещений реперов была одинаковой и составила 6 мм/мес. Стабилизации смеще-

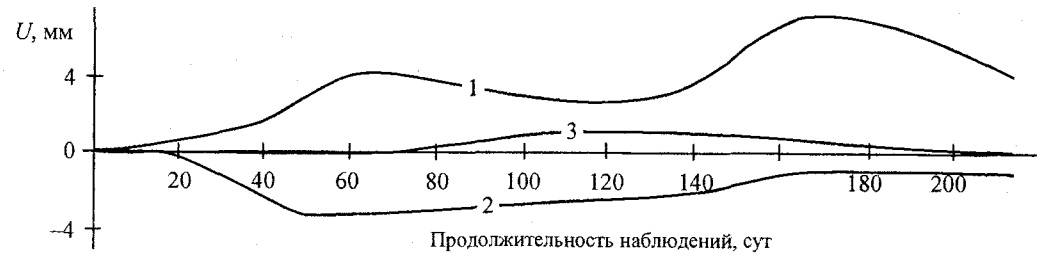


Рис.7. Смещение контурного репера кровли выработки относительно глубинных реперов, расположенных на расстояниях: 1 – 0,8 м; 2 – 1,3 м; 3 – 2,0 м

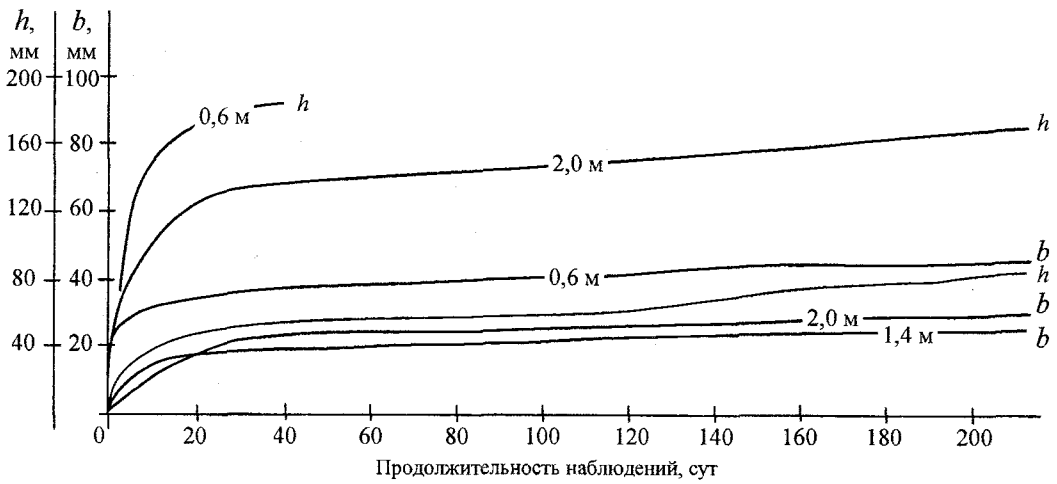


Рис.8. Конвергенция рудного массива боков *b* и абсолютные смещения кровли *h* выработки на различных расстояниях от контура

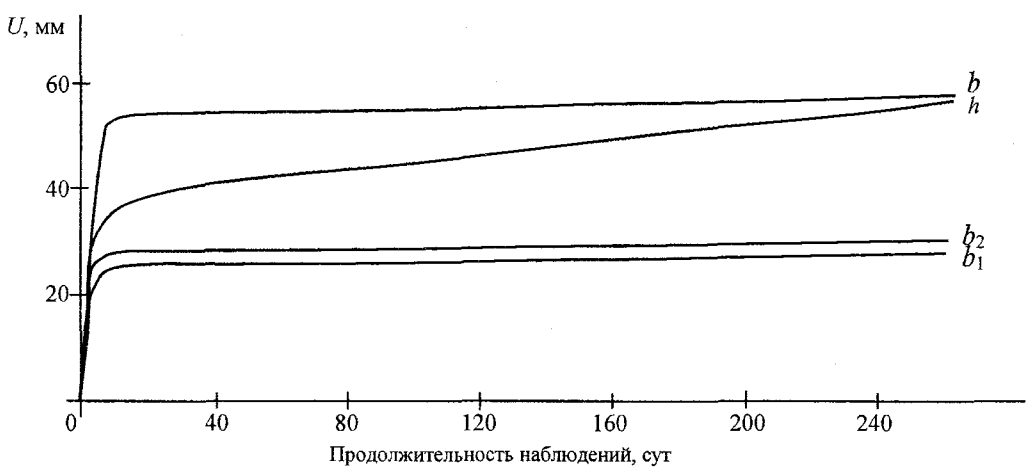


Рис.9. Средние смещения контура выработки сечением в свету 14,9 м^2, закрепленной крепью КМП-А3
h – кровля; b_1 – лежачий бок; b_2 – висячий бок; *b* – конвергенция боков

ний не отмечается. Через 40 сут после проведения выработки репер на глубине 1,4 м свободно перемещался на ±180 мм вдоль шпура вследствие разрушения рудного массива на этом участке и был потерян для наблюдений. Отношения смещений кровли к конвергенции боков выработки на расстоянии от контура 1,4 м или $0{,}1R_{пр}$ составили 5,76, на расстоянии 2,0 м или $0{,}34R_{пр}$ – 2,95.

Вокруг выработки образуется зона деформаций, по очертанию близкая к эллипсу.

Размеры зоны деформаций составляют в лежачем боку (1,0-1,1)$R_{пр}$, в кровле – (1,2-1,3)$R_{пр}$, в висячем боку – (1,1-1,2)$R_{пр}$. Стабилизации смещений не отмечается, особенно в кровле выработки.

Анализ результатов наблюдений на двух контурных замерных станциях показал, что большая часть абсолютных смещений контура выработки реализуется в первые 20-30 сут после проведения выработки: кровля – 70 %, бока – 90 % (рис.9). В дальнейшем смещения развиваются во времени, как правило, линейно. Скорость смещений уменьшается с увеличением расстояния до контура. Приконтурный рудный массив разрушается на мелкие отдельности в течение всего срока наблюдений. Равными можно считать смещения лежачего и висячего боков выработки.

После первых 20-30 сут смещения во времени имеют практически линейную зависимость. Скорость смещения со стороны кровли – 2,22 мм/мес., боков – 0,37 мм/мес. Скорость смещения кровли в шесть раз превышает скорость смещения боков выработки.

Выявленный характер деформирования рыхлой и плотной железно-слюдковой мартитовой руды и размеры зоны ее деформирования вокруг выработок позволят более достоверно оценивать геомеханическую ситуацию, прогнозировать поведение вмещающего рудного массива и обосновывать эффективные мероприятия по обеспечению устойчивости рудных обнажений и эксплуатационного состояния горизонтальных выработок Яковлевского рудника.