

УДК 622.83:[528.2:629.78]

**МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА  
ПРИ РАЗРАБОТКЕ УЗЕЛЬГИНСКОГО И  
ТАЛГАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЮЖНОГО УРАЛА**

**А. А. Панжин, А. Д. Сашурин, Н. А. Панжина, Е. Ю. Ефремов**

*Институт горного дела УрО РАН, E-mail: panzhin@igduran.ru,  
ул. Мамина-Сибиряка, 58, 620075, г. Екатеринбург, Россия*

Представлены методика и результаты многолетнего геодинамического мониторинга процесса сдвижения земной поверхности при отработке Узельгинского и Талганского месторождений. Несмотря на схожесть горно-геологических условий, различие в типах охраняемых объектов, расположенных на земной поверхности, обусловило использование разных модификаций методики для каждого месторождения. Выполнены переопределения координат ряда пунктов опорной маркшейдерско-геодезической сети и реперов наблюдательной станции с использованием комплекса спутниковой геодезии, цифрового нивелира и электронного тахеометра, найдены параметры трендовых современных геодинамических движений, вызванных формированием мульды сдвижения. В результате проведенной оценки геодинамической активности территории определены векторы полных пространственных сдвижений реперов наблюдательной станции, построены графики деформаций растяжения–сжатия и сдвиговых деформаций, установлен дискретно-мозаичный характер деформирования массива. Приведены обобщающие выводы и выдвинуты предположения о дальнейшем характере деформирования земной поверхности на исследуемых участках.

*Современная геодинамика, процесс сдвижения, напряженно-деформированное состояние, инструментальный мониторинг, наблюдательная станция, маркшейдерские измерения*

DOI: 10.15372/FTPRI20170605

На Узельгинском меднорудном месторождении инструментальные наблюдения организованы в период 1994–1996 гг. для изучения параметров процесса сдвижения, охраны земной поверхности, зданий и сооружений от негативного влияния подземных горных работ. Для этой цели оборудована наблюдательная станция, включающая в себя профильные линии, заложенные на земной поверхности и в шахте, а также стенные реперы, размещенные в сооружениях промплощадки шахты и пос. Александровский. Талганское меднорудное месторождение, расположенное в полутора километрах от Узельгинского, вовлечено в разработку позже, наблюдательная станция на земной поверхности построена в 2005 г. Основной объект охраны на территории отработки — вышка телевизионного ретранслятора.

Ключевым подходом к исследованию процесса сдвижения земной поверхности и охране объектов, попадающих в область отрицательного влияния горных разработок, является организация и проведение инструментальных измерений в мониторинговом режиме [1]. По результатам очередной серии измерений и сравнения их с результатами предыдущих серий можно судить

о процессе деформирования массива горных пород. При этом важным дополнением к инструментальным измерениям служит визуальный осмотр объектов охраны и земной поверхности в случаях, когда деформации заметны “невооруженным взглядом” [2]. Обычно подобные явления сопровождают интенсивные стадии процесса сдвижения.

### МОНИТОРИНГ ПО НАБЛЮДАТЕЛЬНЫМ СТАНЦИЯМ

До 2013 г. программа инструментальных маркшейдерских измерений на обоих месторождениях включала в себя только нивелирование реперов наблюдательной станции в породном массиве и на земной поверхности с определением их оседаний. Начиная с 2013 г. мониторинг процесса сдвижения на месторождении проводится Институтом горного дела УрО РАН, за это время обоснована необходимость проведения комплексного мониторинга сдвижения земной поверхности с установлением как вертикальных, так и горизонтальных смещений в соответствии с нормативными документами [3].

Отработка Узельгинского и Талганского месторождений осуществляется подземным способом системами разработки с применением твердеющей закладки, поэтому сопровождается плавным развитием деформационных процессов без формирования зон обрушения и воронкообразования. Тем не менее для обеспечения безопасности зданий и сооружений, расположенных в мульде сдвижения, при неблагоприятном влиянии подземных горных работ необходима организация периодических инструментальных наблюдений по реперам наблюдательной станции. Поскольку в геологическом строении месторождения значительную роль играют тектонические разломы, проходящие через все рудное поле, они во многом обуславливают современную геодинамическую активность территории. В связи с этим методика инструментального мониторинга включает в себя работы по исследованию современной геодинамики на различных пространственно-временных базах, вызванной совместным влиянием естественных и техногенных геодинамических факторов [4].

По состоянию на конец 2015 г. наблюдательная станция на земной поверхности Узельгинского месторождения (рис. 1) состояла из пяти профильных линий, включающих более 130 грунтовых реперов; более 60 стеновых реперов заложены в конструктивных элементах зданий и сооружений промплощадки рудника и пос. Александровский, попадающих в зону влияния горных работ. На 17 грунтовых реперах проводятся регулярные переопределения координат методом спутниковой геодезии с целью исследования трендовых и циклических геодинамических движений.

В настоящее время наблюдательная станция Талганского месторождения после нескольких реконструкций и расширений представляет собой три профильные линии различной длины с количеством пунктов от 6 до 17 (рис. 2). Пять пунктов переопределяются с помощью спутниковой геодезии.

Программа инструментальных наблюдений включает в себя определение высотных отметок реперов наблюдательной станции, заложенных на земной поверхности и в горных выработках, измерение длин линий между реперами наблюдательной станции на земной поверхности, в том числе между стенными реперами в зданиях и сооружениях промплощадки, пространственное координирование ряда реперов наблюдательной станции с использованием комплекса спутниковой геодезии и выполнение специальных работ по диагностике геодинамической активности исследуемой территории. Также проводится оценка деформированного состояния зданий и сооружений по результатам визуального осмотра.

С помощью инструментальных наблюдений по профильным линиям наблюдательной станции в вертикальной плоскости определяются оседания реперов, деформации наклона и скорости приращения наклонов, при необходимости — радиус кривизны; в горизонтальной плоскости — горизонтальные деформации “растяжения–сжатия” и их скорости. Результаты представляются в табличном виде и графиками как суммарные деформации за весь период наблюдений и между отдельными сериями измерений.

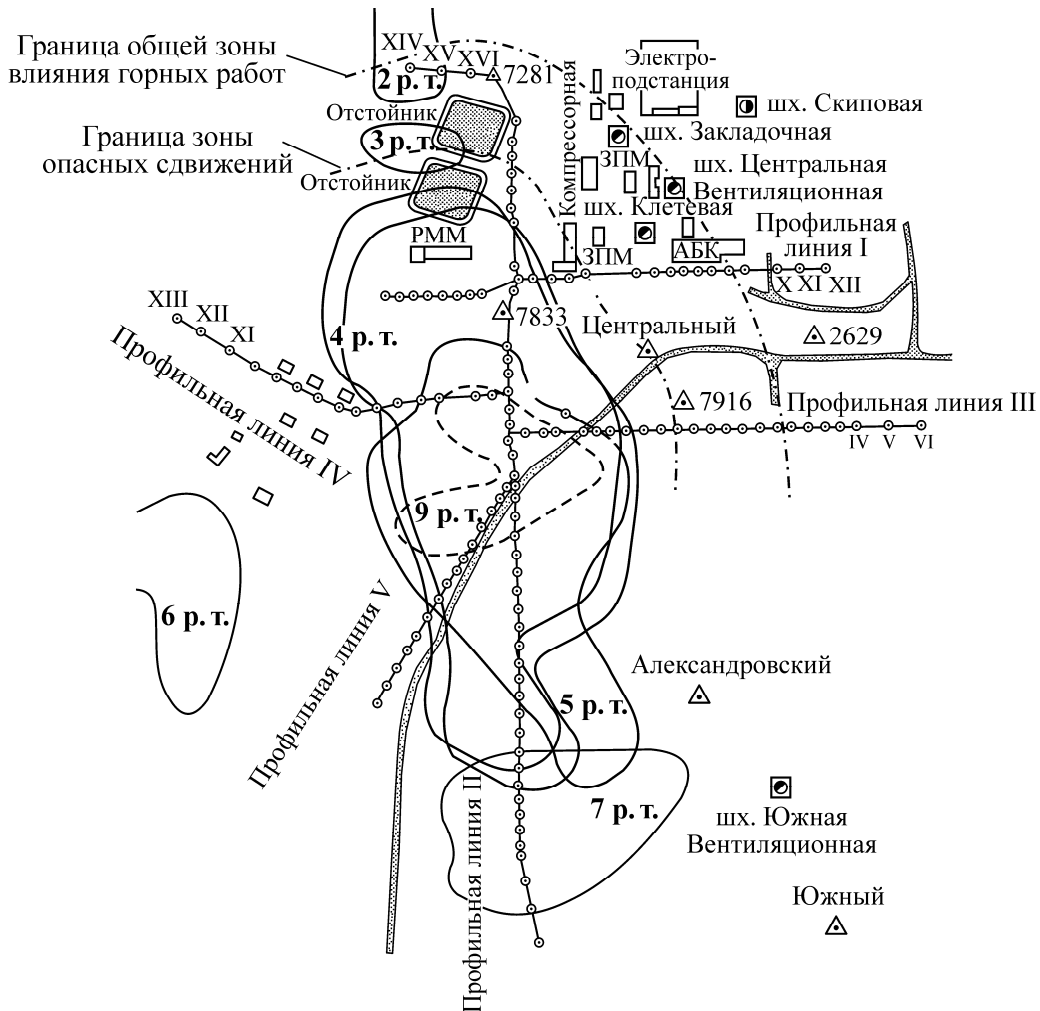


Рис. 1. План наблюдательной станции на земной поверхности Узельгинского месторождения: ЗПИМ — здание подъемной машины; АБК — административно-бытовой комбинат; РММ — ремонтные механические мастерские; р. т. — рудные тела

Для обоих месторождений установлено, что горизонтальные и вертикальные деформации, зафиксированные на профильных линиях, не превышают допустимых значений для зданий и сооружений I категории охраны. Повышенные значения деформаций на отдельных интервалах связаны в основном с повреждением реперов. Фиксируется “дискретный” характер деформирования породного массива с разнонаправленными горизонтальными и вертикальными деформациями. На ряде профильных линий отмечается формирование мульды оседаний, обусловленное отработкой рудных тел Узельгинского месторождения. Это означает, что подземные горные работы в настоящее время вызывают проявление процесса сдвижения на земной поверхности, при этом за счет закладки выработанного пространства они носят плавный характер, вертикальные и горизонтальные деформации незначительны.

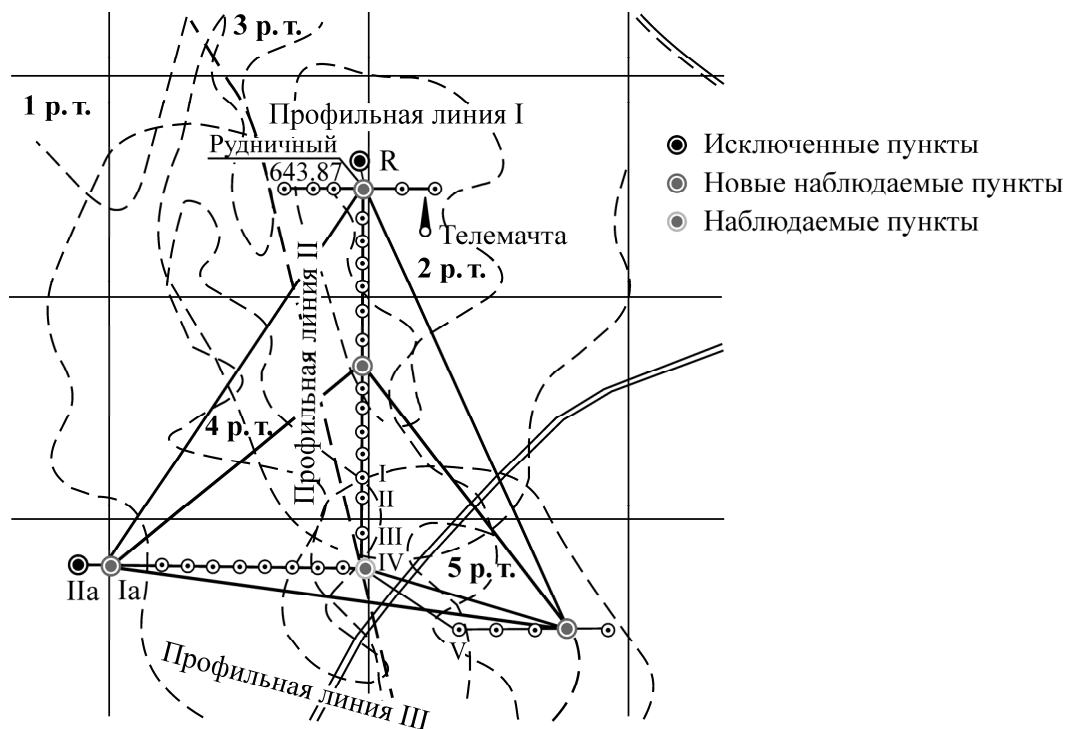


Рис. 2. Схема наблюдательной станции Талганского месторождения

На Талганском месторождении результаты мониторинга показывают, что земная поверхность в ходе ее отработки за весь срок проведения горных работ подвергалась небольшим деформационным изменениям. Оседания большей части реперов находятся в пределах точности нивелирования или незначительно превышают ее в зоне, выделенной на рис. 3.



Рис. 3. Зона оседаний на Талганском месторождении

Изменения высотных положений фиксируют плавные деформации, что соответствует системе отработки с закладкой выработанного пространства. Анализируя картину вертикального сдвижения, следует отметить холмистый рельеф земной поверхности и значительный перепад

высот между концами профильных линий, что вносит свой вклад в точность определения высотных отметок. Сопоставляя это с тем, что наблюдаемые в течение длительного времени оседания немного превышают уровень точности их определения, можно заключить, что массив вмещающих пород находится в стабильном состоянии.

Для мониторинга состояния охраняемых зданий и сооружений организованы инструментальные наблюдения по стенным реперам, закладываемым по периметру наблюдаемых объектов. В соответствии с программой инструментальных наблюдений на станции, при подработке зданий на территории промплощадки проводится нивелирование стенных реперов и измерение горизонтальных расстояний между ними.

В 2014 г. с помощью мониторинговых измерений зафиксирован “мозаичный” характер распределения деформаций по территории промплощадки с формированием двух обособленных зон вертикальных сдвижений — оседаний в южной части и поднятий в северо-западной, вызванный “дискретным” деформированием породного массива (рис. 4). По результатам измерений 2015 г. этот характер не проявился. В настоящее время градиенты вертикальных деформаций на территории промплощадки невелики, однако обосновано, что в дальнейшем необходимо обращать особое внимание на формирование поля деформаций в районе промплощадки шахты с контролем развития высокоградиентных зон.

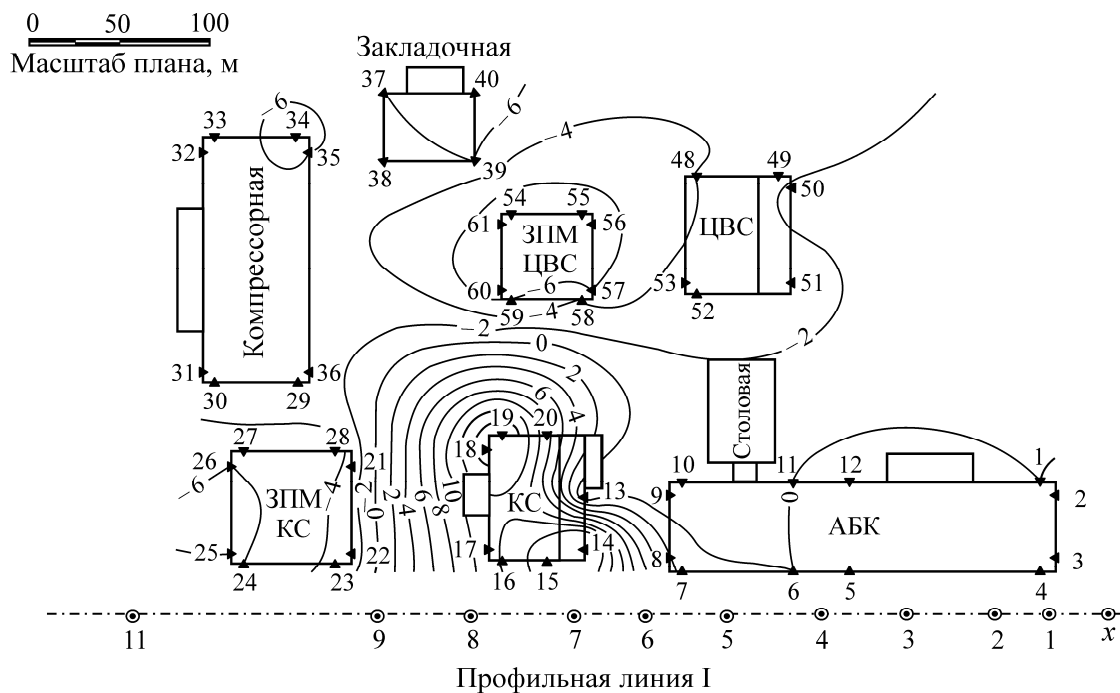


Рис. 4. Изолинии оседаний стенных реперов промплощадки шахты

В 2014–2015 гг. между рядом стенных реперов промплощадки выполнены измерения длин линий и определены горизонтальные деформации. Зафиксированные значения деформаций не превышают  $(1.0–1.5) \cdot 10^{-3}$ , в основном находясь в диапазоне до  $0.5 \cdot 10^{-3}$ , что не может привести к нарушению охраняемых объектов, но нельзя исключать накопления деформаций во времени. Вертикальное сдвижение реперов опоры ретранслятора на Талганском месторождении не более 2 мм. Разница между оседаниями реперов находится в пределах 1 мм, что соответствует деформациям наклона основания башни  $0.19 \cdot 10^{-3}$ . Данные деформации незначительны, составляют около 10% от допустимых [3] для сооружений связи высотой менее 50 м.

## МОНИТОРИНГ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ СПУТНИКОВОЙ ГЕОДЕЗИИ

В ходе выполнения мониторинговых инструментальных наблюдений на земной поверхности проводилась оценка геодинамической активности территории по результатам GPS-измерений. Экспериментальными исследованиями ИГД УрО РАН выявлены два вида современных геодинамических движений — трендовые (криповые) и циклические. Трендовые движения представлены в виде взаимных подвижек соседних структурных блоков массива горных пород с относительно постоянными скоростью и направлением в течение продолжительного промежутка времени, сопоставимого со сроком службы объекта. Циклические движения носят полигармонический характер и слагаются из многочисленных знакопеременных движений с разными частотами и амплитудами перемещения в циклах. Трендовые движения могут иметь как естественную природу, вызванную тектоническими подвижками по границам структурных блоков, так и техногенную, вызванную перераспределением напряжений и деформаций в породном массиве под воздействием горных работ, откачки подземных вод и других факторов [5]. Короткопериодные циклические движения имеют широкий полигармонический спектр частот с продолжительностью циклов от 30–60 с до 1 ч, нескольких часов, суток и более.

Исследования “короткопериодной геодинамики” массива на Узельгинском месторождении проводились в 2013 и 2014 гг. путем неоднократного измерения приращения координат интервалов ряда пунктов геодинамического полигона. Тогда же установлен неравномерный характер распределения короткопериодных движений массива и на исследуемом участке зафиксированы высокие значения амплитуд циклических геодинамических движений. Выявлена высокая вариативность циклических геодинамических движений в горизонтальной плоскости — компонент  $\Delta N$  (север–юг) и  $\Delta E$  (запад–восток) — в зависимости от серии наблюдений. Установлены преобладающие частоты короткопериодных циклических движений, которые рассчитывались с помощью анализа Фурье пространственно-временных рядов смещений по осям координат. Определены преобладающие частоты циклических движений с гармониками “средней энергетики”, соответствующие периоду 20 и 40 мин. Также четко выражена 120-минутная составляющая.

В последующих сериях инструментальных измерений основное внимание уделено оценке геодинамической активности породного массива, выраженной в виде трендовых (криповых) подвижек. Трендовые движения определяются на основе анализа изменений пространственных приращений координат (векторов)  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$  между пунктами геодезических сетей или реперами наблюдательных станций, определенными в промежутках между повторными циклами измерений. Использование комплексов спутниковой геодезии GPS и GLONASS позволяет обнаружить сдвиги между пунктами мониторинговой геодинамической сети с точностью до 1–3 мм в разовом режиме, при долговременных непрерывных мониторинговых измерениях достигается точность до 0.1 мм. Полученные в результате инструментальных наблюдений деформации интервалов с использованием математического аппарата механики сплошной среды могут быть преобразованы в тензорное представление деформационного поля с выделением главных компонентов тензора деформаций по методикам, приведенным в [6, 7].

В случае, если необходимо найти значения и направления векторов трендовых движений, геодезическая привязка опорных реперов наблюдательной станции и их абсолютное позиционирование осуществляются от пунктов глобальной сети IGS, пространственное положение которых устанавливается в динамической системе координат ITRF [8].

На исследуемом участке расположен ряд пунктов геодезической сети, координаты которых определены в 1989 г. (рис. 1). Пункты “Южный”, “Александровский”, “Центральный”, 7281, 7833, 2629, 7916 находятся либо в пределах границ ожидаемой общей зоны влияния горных работ, либо в ее непосредственной близости. Пункт “Табанды” расположен в 5 км к западу

от указанных геодезических пунктов вне области влияния горных работ Узельгинского месторождения. Кроме того, проводилось координирование ряда реперов наблюдательной станции. Методика полевых работ включала в себя координирование пунктов геодезической сети и реперов наблюдательной станции от исходного пункта “Табанды”, координаты которого определены в 1988 г.

Для исследования собственных геодинамических движений исходного пункта триангуляции “Табанды”, на который центрируются геодезические построения в процессе сдвижения на Узельгинском, Талганском и Западно-Озерском месторождениях, решена задача с использованием данных, полученных постоянно действующими GPS–GLONASS станциями, которые расположены в городах Учалы, Белорецк и Магнитогорск. Геодезическая привязка указанных станций района Учалинского и Таганского месторождений осуществлялась к пунктам глобальной сети IGS с помощью программного обеспечения Bernese Software. Для привязки станций UTCH, MAGN, GU44 и GU48 использовались длительные серии непрерывных измерений — от 8 до 10 сут, поскольку длины векторов до ближайших IGS станций превышают 1 000 км. На втором этапе пункт “Табанды” встраивался уже в существующие геодезические построения.

На данном этапе работ определены собственные движения пункта “Табанды”, которые учтены при выполнении геодезических измерений в мульде сдвижения Узельгинского и Талганского месторождений. Проанализированы движения опорных пунктов сети и идентифицированы результаты геодинамических наблюдений [8, 9]. На последующем этапе проведено координирование реперов наблюдательной станции, расположенных в мульде сдвижения обоих месторождений и на прилегающем массиве. Установлено, что векторы сдвижений за период октябрь 2014–октябрь 2015 г. в основном не превышают 10 мм. Несколько выше значения сдвижений, полученные в период июнь–октябрь 2015 г., которые достигают 20 мм по обеим осям координат. Характер сдвижения реперов различный по величине и азимутам направлений, но в центральной части мульды сдвижения в большинстве случаев наблюдается согласованное направление векторов, причем в северной, западной и восточной частях исследуемого участка угол между векторами примерно равен  $90^\circ$ , в южной части отмечается разнонаправленное движение.

В целом, как и в подземных выработках, сдвижение реперов на земной поверхности происходит неравномерно. На сравнительно небольших временных интервалах (5 мес) скорость перемещений высока (5–8 мм/мес), однако она стабилизируется до 0.5–2 мм/мес при увеличении временного интервала до 18–24 мес, что связано как с особенностями дискретного деформирования блочного массива горных пород, так и с периодическими изменениями напряженно-деформированного состояния массива [10].

“Дискретно-мозаичный” характер деформирования массива подтверждается на графиках главных горизонтальных деформаций участка  $\varepsilon_1 + \varepsilon_2$ , один из которых приведен на рис. 5 в виде тензоров, построенных с использованием методики, описанной в [11]. Обращают на себя внимание деформации, которые, несмотря на различающиеся почти в 2 раза значения векторов сдвижений, практически одинаковы для соседних измерений, что обусловлено во многом согласованным направлением взаимного действия векторов сдвижений. Кроме того, четко выделяются области повышенных деформаций сжатия, также наблюдается “дискретно-мозаичный” характер деформирования массива: области горизонтальных сжатий перемежаются с областями разгрузок. Проанализирован характер распределения деформаций сдвига, которые, хотя и имеют визуально схожий характер пространственного распределения, различаются между сериями в 2 раза. Это подтверждает предположение о том, что согласованные по направлению взаимного действия векторы сдвижений на Узельгинском месторождении реализуются преимущественно в виде деформаций сдвига.

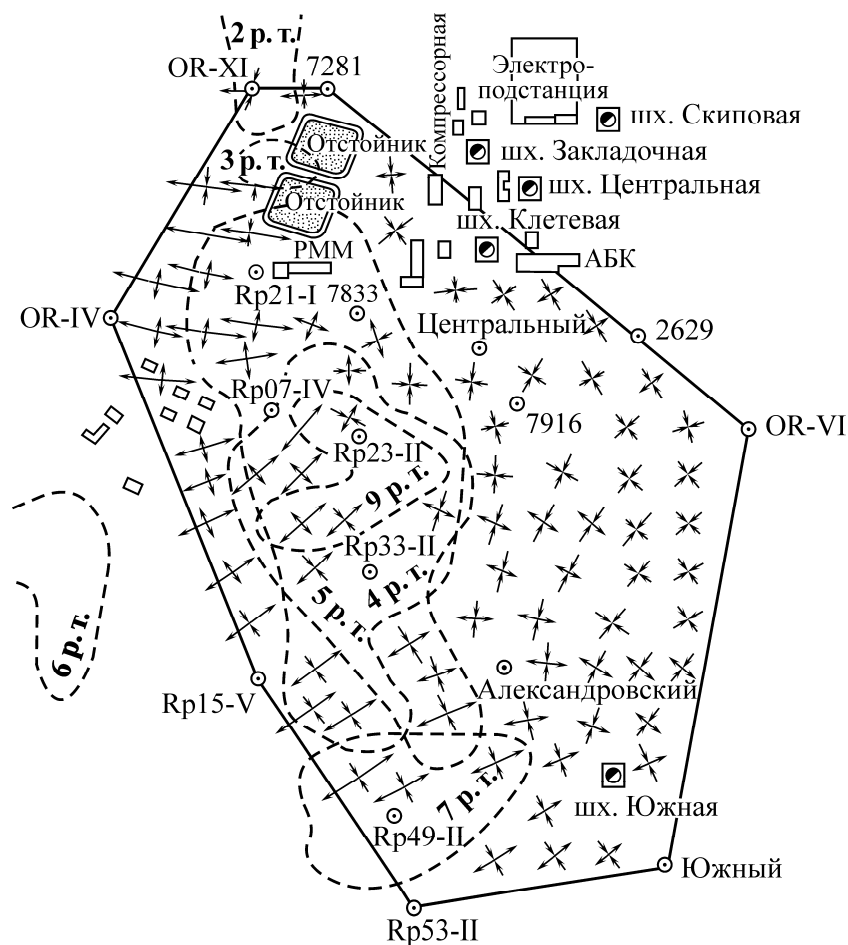


Рис. 5. Главные горизонтальные деформации  $\varepsilon_1 + \varepsilon_2$  на Узельгинском месторождении

## ВЫВОДЫ

В результате проведенной оценки геодинамической активности двух рудных месторождений на территории Южного Урала по данным GPS-измерений определены векторы горизонтальных сдвижений реперов наблюдательной станции, построены графики деформаций растяжения – сжатия и сдвиговых деформаций, установлен “дискретно-мозаичный” характер деформирования массива. Предложенная ИГД УрО РАН схема наблюдательной станции для выполнения геодинамического мониторинга сдвижений земной поверхности Узельгинского и Талганского месторождений в настоящее время полностью удовлетворяет требованию нормативного документа, регламентирующего инструментальные наблюдения за процессом сдвижения горных пород и земной поверхности при разработке месторождений подземным способом.

Установлено, что деформирование породного массива на малых временных промежутках реализуются в основном в виде сдвиговых деформаций; на больших временных интервалах их скоростные характеристики стабилизируются.

Согласно данному прогнозу, обработка Узельгинского месторождения с применением твердеющей закладки вызовет плавное развитие деформационных процессов сдвижения и образование на земной поверхности мульды сдвижения с деформациями, не превышающими уровня допустимых для зданий и сооружений I категории охраны. Однако в реальном породном массиве, имеющем иерархически-блочное строение, не исключается формирование зон повышенных деформаций, вызванных процессами его деструкции и самоорганизации.



На Талганском месторождении многолетние наблюдения также показывают плавный характер сдвижения. Относительные взаимные перемещения пунктов наблюдательной станции минимальны, векторы перемещения сонаправлены, при этом сдвижения реперов вдоль тектонических разломов, проходящих через месторождения, не обнаружены. С точки зрения современной геодинамической активности, вмещающие породы Талганского месторождения ведут себя как единый блок, не разбитый на более мелкие структурные единицы. Максимальные смещения невелики, выявляются на локальном уровне и связаны с очистными работами, проводящимися на верхних горизонтах. Можно ожидать, что и в дальнейшем сдвижение пород будет проходить плавно, без существенного ущерба для охраняемых объектов.

Принятая методика инструментальных наблюдений, включающая нивелирование по профильным линиям на земной поверхности и в массиве горных пород, а также по стенным реперам охраняемых зданий, измерение горизонтальных расстояний между стенными реперами, определение горизонтальных деформаций по профильным линиям и векторов горизонтальных сдвижений по площадной наблюдательной станции, позволяет осуществлять контроль за развитием процесса сдвижения, обеспечивать сохранность объектов, попадающих в область деструктивного влияния горных разработок, и гарантировать геомеханическую безопасность отработки Узельгинского и Талганского месторождений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Панжин А. А.** Пространственно-временной геодинамический мониторинг на объектах недропользования // Горн. журн. — 2012. — № 1. — С. 39–43.
2. **Панжин А. А., Панжина Н. А.** Об особенностях проведения геодинамического мониторинга при разработке месторождений полезных ископаемых Урала с использованием комплексов спутниковой геодезии // ФТПРПИ. — 2012. — № 6. — С. 46–55.
3. **Инструкция** по наблюдениям за сдвижением горных пород и земной поверхности при подземной разработке рудных месторождений. Утв. Госгортехнадзором СССР 03.07.1986. — М.: Недра, 1988. — 112 с.
4. **Ручкин В. И., Коновалова Ю. П.** Изменение напряженно-деформированного состояния геологической среды под воздействием комплекса естественных и техногенных геодинамических факторов на горнодобывающих предприятиях // Проблемы недропользования. — 2015. — № 1. — С. 32–37. DOI: 10.18454/2313-1586.2015.4.889.
5. **Ручкин В. И., Желтышева О. Д.** Влияние техногенной нагрузки на динамику напряженно-деформированного состояния массива горных пород // Проблемы недропользования. — 2015. — № 1. — С. 26–31. DOI: 10.18454/2313-1586.2015.4.888.
6. **Ефремов Е. Ю., Желтышева О. Д.** Метод определения напряжений на протяженных участках массива горных пород // Изв. вузов. Горн. журн. — 2013. — № 7. — С. 34–39.
7. **Сашурин А. Д., Балек А. Е.** Совершенствование методики натурных замеров напряженно-деформированного состояния больших участков горного массива // Вестн. ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. — 2014. — № 11. — С. 105–120. DOI: 10.15593/2224-9923/2014.11.11.
8. **Панжин А. А.** Решение проблемы выбора опорных реперов при исследовании процесса сдвижения на объектах недропользования // Маркшейдерия и недропользование. — 2012. — № 2. — С. 51–54.
9. **Кузьмин Ю. О.** Актуальные проблемы идентификации результатов наблюдений в современной геодинамике // Физика Земли. — 2014. — № 5. — С. 51–64.
10. **Зубков А. В.** Периодическое расширение и сжатие Земли как вероятный механизм природных катаклизмов // Литосфера. — 2013. — № 2. — С. 145–156.
11. **Панжин А. А., Мазуров Б. Т., Силаева А. А.** Визуализация характеристик деформационных полей по данным геодезических наблюдений // Проблемы недропользования. — 2015. — № 3. — С. 13–18. DOI: 10.18454/2313-1586.2015.03.013.