

УДК 622.775:621.791.8]:504.06

**Панжин Андрей Алексеевич**

кандидат технических наук, ученый секретарь,  
Институт горного дела УрО РАН,  
620075 г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58  
e-mail: [panzhin@igd.uran.ru](mailto:panzhin@igd.uran.ru)

**Сашурин Анатолий Дмитриевич**

доктор технических наук, профессор,  
заведующий отделом,  
Институт горного дела УрО РАН  
e-mail: [sashour@igd.uran.ru](mailto:sashour@igd.uran.ru)

**Боликов Владимир Егорович**

доктор технических наук, профессор,  
главный научный сотрудник,  
Институт горного дела УрО РАН

**Ручкин Владимир Игоревич**

научный сотрудник,  
Институт горного дела УрО РАН

**Ефремов Евгений Юрьевич**

младший научный сотрудник,  
Институт горного дела УрО РАН

**Панжина Наталия Александровна**

младший научный сотрудник,  
Институт горного дела УрО РАН

**ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ  
ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА  
НА УЗЕЛЬГИНСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ\****Аннотация:*

Приводится методика геодинамического мониторинга процесса сдвижения земной поверхности при отработке Узельгинского месторождения и результаты определения деформаций в вертикальной и горизонтальной плоскостях. В ходе работы выполнены переопределения координат ряда пунктов опорной маркшейдерско-геодезической сети и реперов наблюдательной станции с использованием комплекса спутниковой геодезии, определены параметры трендовых современных геодинамических движений, обусловленных формированием мульды сдвижения. В результате проведенной оценки геодинамической активности территории были определены векторы полных пространственных сдвижений реперов наблюдательной станции, построены графики деформаций растяжения – сжатия и сдвиговых деформаций, установлен дискретно-мозаичный характер деформирования массива. Проведена оценка влияния короткопериодных деформаций на геодинамическое состояние породного массива, установлены основные параметры циклических движений. Выполнен прогноз развития деформационных процессов при отработке Узельгинского месторождения с применением твердеющей закладки, по результатам которого ожидается плавное развитие деформационных процессов сдвижения и образования на земной поверхности мульды сдвижения с деформациями, не превышающими допустимых для зданий и сооружений.

**Ключевые слова:** современная геодинамика, процесс сдвижения, напряженно-деформированное состояние, инструментальный мониторинг, наблюдательная станция, маркшейдерские измерения

DOI: 10.18454/2313-1586.2016.04.081

**Panzhin Andrey A.**

candidate of technical sciences, scientific secretary,  
The Institute of Mining UB RAS,  
620075, Yekaterinburg, 58 Mamin-Sibiriak st.  
e-mail: [panzhin@igd.uran.ru](mailto:panzhin@igd.uran.ru)

**Sashourin Anatoly D.**

doctor of technical sciences, professor,  
the head of the department,  
The Institute of Mining UB RAS  
e-mail: [sashour@igd.uran.ru](mailto:sashour@igd.uran.ru)

**Bolikov Vladimir E.**

doctor of technical sciences, professor,  
chief researcher,  
The Institute of Mining UB RAS

**Ruchkin Vladimir I.**

researcher,  
The Institute of Mining UB RAS

**Efremov Eugene Yu.**

junior researcher,  
The Institute of Mining UB RAS

**Panzhina Nataliya A.**

junior researcher,  
The Institute of Mining UB RAS

**FEATURES OF GEODYNAMIC MONITORING  
IN THE UZELGINSKY ORE DEPOSIT***Abstract:*

The procedure of geodynamic monitoring the Earth's surface displacement while the Uzelginsky ore deposit development and the results of determination deformation in the vertical and horizontal planes are cited. In the course of work the redistribution of coordinates of a number of surveyor-geodetic network reference points and observation stations' frames using a complex of satellite geodesy are carried out; the parameters of the trend modern geodynamic movements caused by the formation of the displacement mould are determined. As a result of geodynamic activity areas evaluation spatial displacement vectors of full observation station frames spatial displacements, the graphs of the stressed-strained deformation and shear deformation are plotted, discrete mosaic pattern of rock mass deformation is set. The influence of short-period deformation on the rock mass geo-dynamic state is conducted; the basic parameters of cyclic movements are set. The forecast of deformation processes is performed mining the Uzelginsky ore deposit with solid stowing; according to the results of which smooth development of deformation displacement processes and displacement mould formation on the earth surface with deformations not exceeding allowable for buildings and structure is expected.

**Key words:** up-to-date geo-dynamics, surface displacements, stressed-deformed state, instrumental monitoring, observation station, geo-dynamic polygon, surveying measurements

\* Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 14-05-00324-А)

### *Введение*

На Узельгинском меднорудном месторождении инструментальные наблюдения были организованы ОАО «Уралмеханобр» в период 1994 – 1996 гг. для изучения параметров процесса сдвижения, охраны земной поверхности, зданий и сооружений от вредного влияния подземных горных работ. Для этой цели была оборудована наблюдательная станция, включающая в себя профильные линии, заложенные на земной поверхности и в шахте, а также стеновые реперы, заложенные в сооружениях промплощадки шахты и поселка Александровский.

Ключевым подходом к исследованию процесса сдвижения земной поверхности и охране объектов, попадающих в область вредного 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].

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

Отработка Узельгинского месторождения производится подземным способом, с применением закладки выработанного пространства, что сопровождается плавным развитием деформационных процессов, без формирования зоны обрушения. Тем не менее для обеспечения безопасности зданий и сооружений, расположенных в мульде сдвижения от вредного влияния подземных горных работ, необходимы периодические инструментальные наблюдения по реперам наблюдательной станции. Поскольку в геологическом строении месторождения значительную роль играют тектонические разломы, проходящие через весь разрез рудного поля, они во многом определяют 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].

### *Методика проведения мониторинга*

По состоянию на конец 2015 года наблюдательная станция на земной поверхности Узельгинского месторождения (рис. 1) состояла из пяти профильных линий, включающих более 130 грунтовых реперов; более 60 стеновых реперов были заложены в конструктивных элементах зданий и сооружений промплощадки рудника и поселка 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.

Программа инструментальных наблюдений включает в себя определение высотных отметок реперов наблюдательной станции, заложенных на земной поверхности и в горных выработках, промеры длин линий между реперами наблюдательной станции на земной поверхности, в том числе промеры длин линий между стеновыми реперами в зданиях и сооружениях промплощадки, пространственное координирование ряда реперов наблюдательной станции с использованием комплекса спутниковой геодезии и выпол-

нение специальных работ по диагностике геодинамической активности исследуемой территории. Также в ходе выполнения работ проводится оценка деформационного состояния зданий и сооружений по результатам визуального осмотра.

В результате инструментальных наблюдений по профильным линиям наблюдательной станции в вертикальной плоскости определяются величины оседаний реперов, деформации наклона и скорости приращения наклонов, при необходимости – радиус кривизны; в горизонтальной плоскости определяются горизонтальные деформации растяжения – сжатия и их скорости. Результаты измерений представляются как в табличном виде (суммарные деформации за весь период наблюдений и между отдельными сериями измерений), так и в виде графиков.

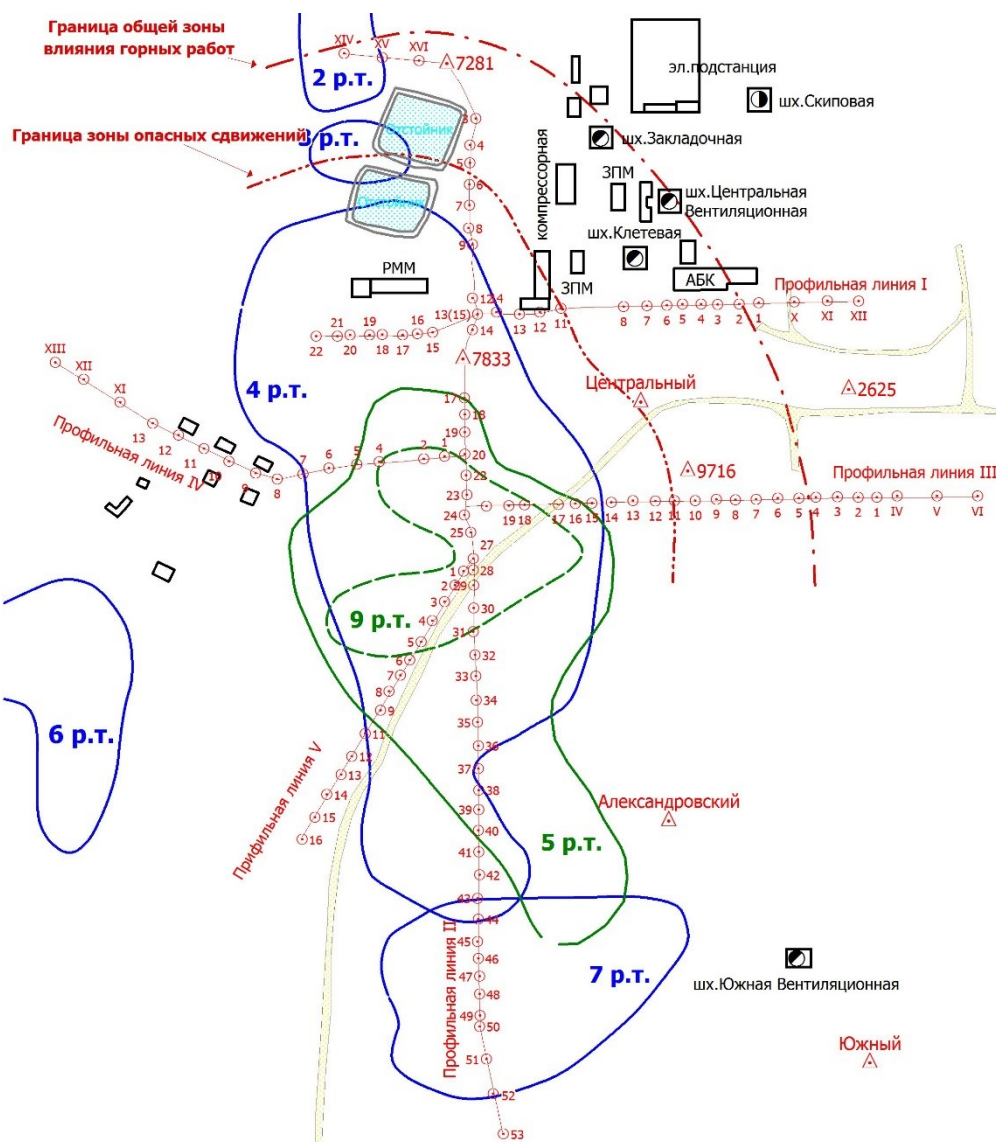


Рис. 1 – План наблюдательной станции на земной поверхности

В целом для условий Узельгинского месторождения установлено, что величины горизонтальных и вертикальных деформаций, зафиксированные на профильных линиях, как правило, не превышают допустимых значений для зданий и сооружений I категории охраны. Повышенные величины деформаций на отдельных реперах в основном связаны с их повреждением. Фиксируется дискретный характер деформирования породного массива с разнонаправленными величинами горизонтальных и вертикальных деформаций.

На ряде профильных линий отмечается формирование мульды оседаний, связанной с отработкой рудных тел Узельгинского месторождения. Установлено, что подземные горные работы в настоящее время оказывают значительное влияние на состояние земной поверхности, при этом за счет закладки выработанного пространства характер процесса сдвижения носит плавный характер, вертикальные и горизонтальные деформации незначительны.

Для мониторинга состояния охраняемых зданий и сооружений организованы инструментальные наблюдения по стеновым реперам, закладываемым по периметру наблюдаемых объектов. Программой инструментальных наблюдений на станции при подработке зданий на территории промплощадки производится нивелирование стеновых реперов и измерение горизонтальных расстояний между ними. В 2014 году, в ходе выполнения 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, что вызвано дискретным деформированием породного массива (рис. 2), который по результатам измерений 2015 года не проявился. В настоящее время градиенты вертикальных деформаций на территории промплощадки невелики, но обосновано, что в дальнейшем необходимо обращать особое внимание на характер формирования поля деформаций в районе промплощадки шахты с контролем за развитием высокоградиентных зон.

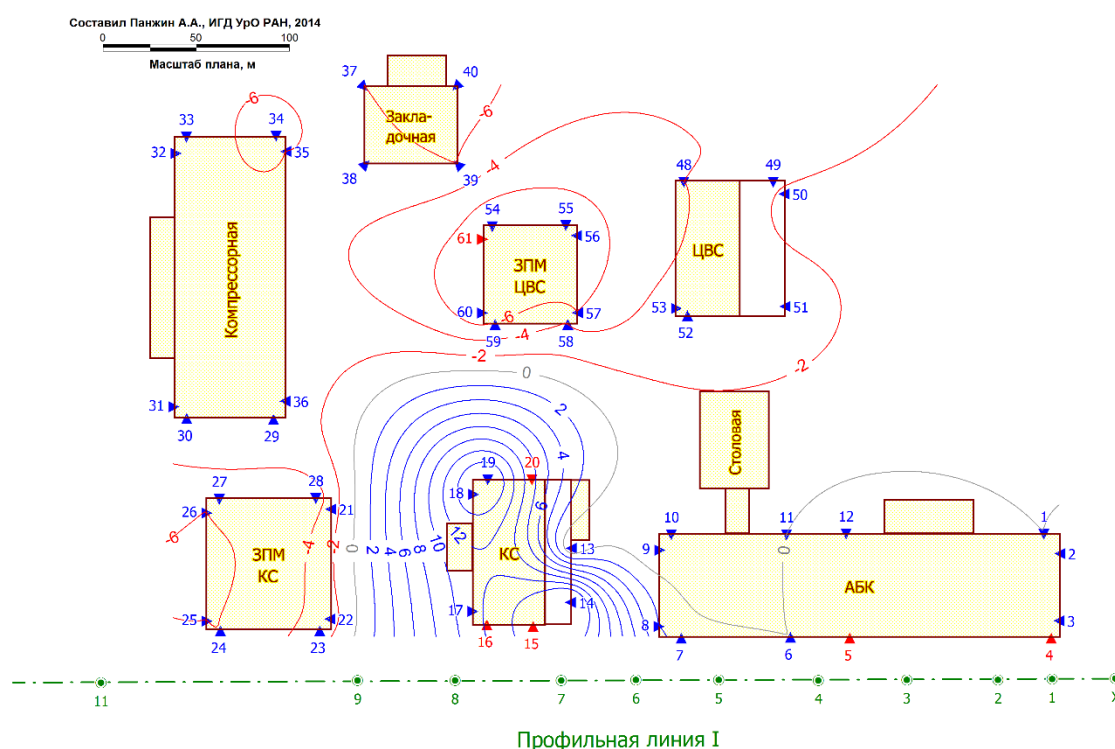


Рис. 2 – Изолинии оседаний стеновых реперов промплощадки шахты

В 2014 – 2015 годах между рядом стеновых реперов промплощадки были выполнены промеры интервалов и определены горизонтальные деформации, зафиксированные величины которых не превышают  $1 - 1,5 \cdot 10^{-3}$ , в основном находясь в диапазоне до  $0,5 \cdot 10^{-3}$ , что не может привести к нарушению охраняемых объектов, однако нельзя исключать накопление величин деформаций во времени.

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 состоят из многочисленных знакопеременных движений с разными частотами и амплитудами перемещения в циклах. Трендовые движения могут иметь как естественную природу, обусловленную тектоническими подвижками по границам структурных блоков, так и техногенную, обусловленную 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 сек до 1 часа, нескольких часов, суток и более.

Исследования короткопериодной геодинамики на Узельгинском месторождении производились в 2013 и 2014 гг. путем неоднократного измерения приращения координат интервалов ряда пунктов геодинамического полигона. Тогда же был установлен неравномерный характер распределения величин короткопериодных движений массива, и на исследуемом участке зафиксированы высокие значения амплитуд циклических геодинамических движений. Выявлена высокая вариативность циклических геодинамических движений в горизонтальной плоскости, компоненты  $\Delta N$  (север-юг) и  $\Delta E$  (запад-восток) в зависимости от серии наблюдений. Были установлены преобладающие частоты короткопериодных циклических движений, которые определялись путем проведения анализа Фурье пространственно-временных рядов смещений по осям координат.

При проведении последующих серий инструментальных измерений основной упор был сделан на оценку 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 реперов наблюдательных станций, выполненными в промежутках между повторными циклами измерений. Использование комплексов спутниковой геодезии GPS и GLONASS позволяет определять 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/год. 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 определение величин и направлений векторов трендовых движений, геодезическая привязка опорных реперов наблюдательной станции и их абсолютное позиционирование осуществляются от пунктов глобальной сети IGS, пространственное положение которых определяется в динамической системе координат ITRF [8].

На исследуемом участке расположен ряд пунктов геодезической сети, координаты которых были определены в 1989 году (см. 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 «Табанда» расположен вне области влияния горных работ Узельгинского месторождения. Кроме указанных пунктов геодезической сети производилось координирование ряда реперов наблюдательной станции.

Методика полевых работ включала в себя координирование пунктов геодезической сети и реперов наблюдательной станции от исходного пункта «Табанда», исходные координаты которого были определены в 1988 году.

Для исследования собственных геодинамических движений исходного пункта триангуляции «Табанда», на который центрируются геодезические построения при исследовании

довании процесса сдвижения на Узельгинском, Талганском и Западно-Озерском месторождениях, была решена задача с использованием данных, полученных постоянно действующими GPS-ГЛОНАС станциями, ближайшими из которых являются станции, расположенные в городах Учалы, Белорецк и Магнитогорск (рис. 3), владельцы которых предоставили ИГД УрО РАН необходимые данные.

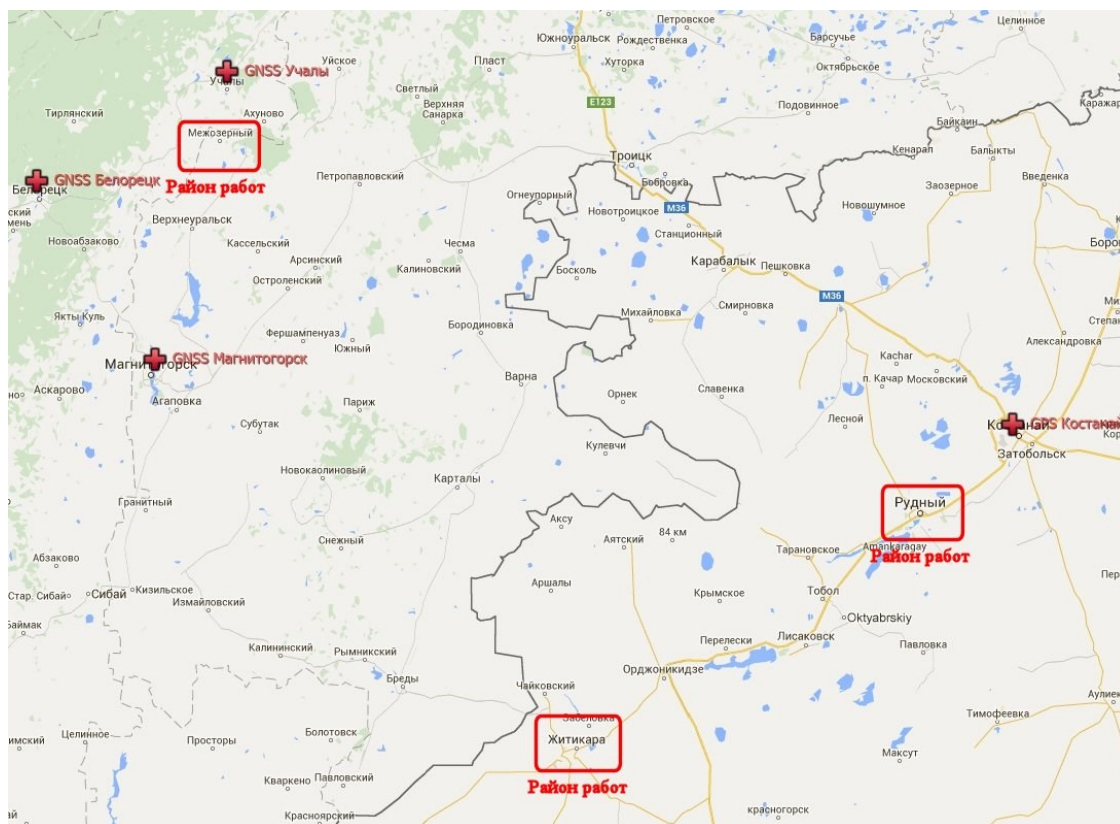


Рис. 3 – Схема расположения постоянно действующих GPS-ГЛОНАС станций района Учалинского месторождения

Геодетическая привязка указанных постоянно действующих GPS-ГЛОНАС станций района Учалинского месторождения осуществлялась к пунктам глобальной сети IGS с использованием программного обеспечения Bernese Software. Для привязки постоянно действующих GPS-ГЛОНАС станций UTCH, MAGN, GU44 и GU48 использовались длительные серии непрерывных измерений – от 8 до 10 суток, поскольку длины векторов до ближайших IGS станций превышают 1000 километров. На втором этапе пункт «Табанда» встраивался уже в существующие геодезические построения.

#### *Результаты проведения мониторинга*

В результате выполнения данного этапа работ были определены собственные движения пункта «Табанда», которые были учтены при выполнении геодезических измерений в мулде сдвижения Узельгинского месторождения. На этом же этапе выполнялся анализ собственных движений опорных пунктов сети и идентификация результатов геодезических наблюдений [8 – 9]. На последующем этапе осуществлялось координирование реперов наблюдательной станции, расположенных в мулде сдвижения Узельгинского месторождения и на прилегающем массиве. Наиболее полно представлены измерения за период с октября 2014 по октябрь 2015 года. По трем выполненным сериям инструментальных измерений определены векторы полных сдвижений реперов наблюдательной станции.

В результате было установлено, что векторы сдвижений имеют небольшие величины, за период с октября 2014 по октябрь 2015 года они в основном не превышают

10 мм. Несколько выше величины сдвижений, полученные в период с июня 2015 по октябрь 2015 года, которые достигают 20 мм по обеим осям координат. Характер сдвижения реперов различный, хотя в большинстве случаев наблюдается как согласованное направление векторов, в основном в центральной части мульды сдвижения, так и различающееся по азимуту. Причем в северной, западной и восточной частях исследуемого участка угол между векторами примерно равен  $90^\circ$ , в южной части наблюдается разнонаправленное движение реперов.

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

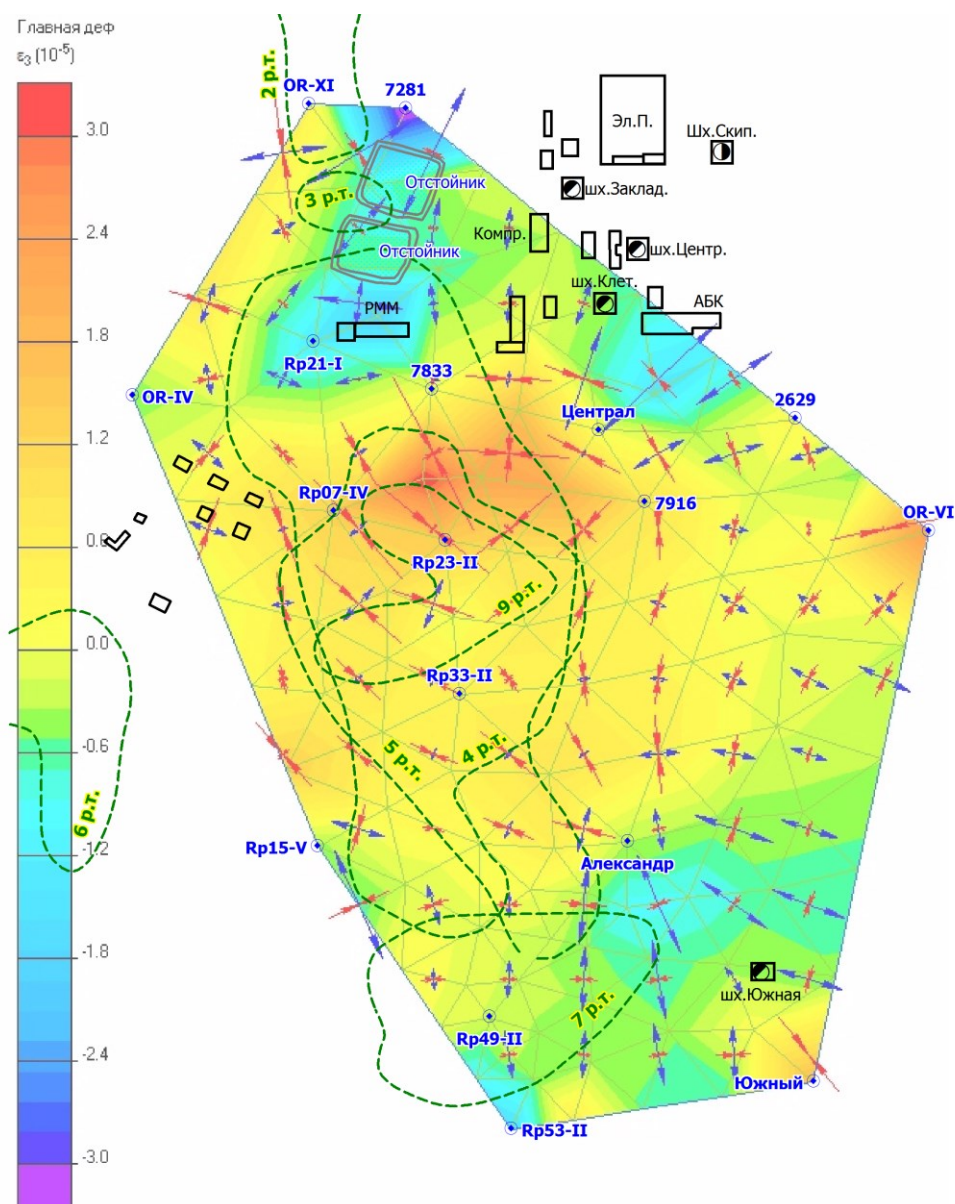


Рис. 4 – Главные горизонтальные деформации  $\varepsilon_1 + \varepsilon_2$

Дискретно-мозаичный характер деформирования массива также подтверждается на графиках главных горизонтальных деформаций участка  $\varepsilon_1 + \varepsilon_2$ , один из которых приведен на рис. 4 в виде тензоров, построенных с использованием методики, приведенной в [11]. Обращают на себя внимание величины деформаций, которые, несмотря на почти

в два раза различающиеся величины векторов сдвижений, практически одинаковы для соседних измерений, что обусловлено во многом согласованным направлением взаимного действия векторов сдвижений, кроме этого четко выделяются области повышенных деформаций сжатия. Также наблюдается дискретно-мозаичный характер деформирования массива, области горизонтальных сжатий перемежаются с областями разгрузок. Также проанализирован характер распределения деформаций сдвига, которые, несмотря на визуально схожий характер пространственного распределения, отличаются между сериями в два раза, что подтверждает высказанное выше предположение о том, что согласованные по направлению взаимного действия векторы сдвижений на Узельгинском месторождении реализуются в основном не в виде деформаций растяжения – сжатия, а преимущественно в виде деформаций сдвига.

### *Заключение*

Таким образом, в результате проведенной оценки геодинамической активности территории по результатам GPS измерений были 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 месторождения в настоящее время полностью удовлетворяет требованию нормативного документа [3], регламентирующего инструментальные наблюдения за процессом сдвижения горных пород и земной поверхности при разработке месторождений подземным способом.

В результате оценки геодинамической активности территории по результатам GPS измерений были определены векторы горизонтальных сдвижений реперов наблюдательной станции, построены графики деформаций растяжения – сжатия и сдвиговых деформаций, установлен дискретно-мозаичный характер деформирования массива. Установлено, что подвижки массива на малых временных промежутках реализуются в основном в виде сдвиговых деформаций, на больших временных базах скорость подвижек стабилизируется.

Прогнозируется, что отработка Узельгинского месторождения с применением твердеющей закладки в дальнейшем вызовет плавное развитие деформационных процессов сдвижения и образование на земной поверхности мульды сдвижения с деформациями, не превышающими 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 деструкции и самоорганизации. Реализация сдвижений в виде сдвиговых деформаций при встречном и согласованном направлениях векторов перемещений будет способствовать возможности реализации подобного сценария, особенно в центральной и прилегающей к ней части мульды сдвижения.

Принятая методика инструментальных наблюдений – нивелировка по профильным линиям на земной поверхности и в массиве горных пород, определение горизонтальных деформаций по профильным линиям, нивелировка по стеновым реперам охраняемых зданий, промеры горизонтальных проложений между стеновыми реперами, определение векторов горизонтальных сдвижений по площадной наблюдательной станции – все это в комплексе позволяет осуществлять контроль за развитием процесса сдвижения и за сохранностью зданий и сооружений на высоком научно-техническом уровне и гарантировать геомеханическую безопасность отработки Узельгинского месторождения.

## Литература

1. Панжин А.А. Пространственно-временной геодинамический мониторинг на объектах недропользования / А.А. Панжин // Горный журнал. - 2012. - № 1. - С. 39 - 43.
2. Панжин А.А. Об особенностях проведения геодинамического мониторинга при разработке месторождений полезных ископаемых Урала с использованием комплексов спутниковой геодезии / А.А. Панжин, Н.А. Панжина // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 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. Изменение напряженно-деформированного состояния геологической среды под воздействием комплекса естественных и техногенных геодинамических факторов на горнодобывающих предприятиях / В.И. Ручкин, Ю.П. Коновалова // Проблемы недропользования. - 2015. - №1(4). - С. 32 - 37.
5. Ручкин В.И. Влияние техногенной нагрузки на динамику напряженно-деформированного состояния массива горных пород / В.И. Ручкин, О.Д. Желтышева // Проблемы недропользования. - 2015. - №1 (4). - С. 26 - 31.
6. Ефремов Е.Ю. Метод определения напряжений на протяженных участках массива горных пород / Е.Ю. Ефремов, О.Д. Желтышева // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. - 2013. - № 7. - С. 34 - 39.
7. Сашурин А.Д. Совершенствование методики натурных замеров напряженно-деформированного состояния больших участков горного массива / А.Д. Сашурин, А.Е. Балек // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. - 2014. - № 11. - С. 105 - 120.
8. Панжин А.А. Решение проблемы выбора опорных реперов при исследовании процесса сдвижения на объектах недропользования / А.А. Панжин // Маркшейдерия и недропользование. - 2012. - № 2. - С. 51 - 54.
9. Кузьмин Ю.О. Актуальные проблемы идентификации результатов наблюдений в современной геодинамике / Ю.О. Кузьмин // Физика Земли. - 2014. - № 5. - С. 51 - 64.
10. Зубков А.В. Периодическое расширение и сжатие Земли как вероятный механизм природных катаклизмов / А.В. Зубков // Литосфера. - 2013. - № 2. - С. 145 - 156.
11. Панжин А.А. Визуализация характеристик деформационных полей по данным геодезических наблюдений / А.А. Панжин, Б.Т. Мазуров, А.А. Силаева // Проблемы недропользования. - 2015. - №3 (6). - С. 13 - 18.