

УДК 622.83:[528.2:629.78]

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ CORS ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ МЕТОДИКИ КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА СДВИЖЕНИЯ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА *

Панжин А.А.

Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Аннотация. Приведено решение проблемы выбора опорных реперов для контроля процесса сдвижения, которые могут считаться относительно свободными от влияния естественных и техногенных деформационных процессов, сопровождающих разработку глубокозалегающих месторождений Урала. Для целей практического использования привязка опорных реперов наблюдательных станций к сети IGS может быть осуществлена с использованием CORS (Continuously Operating Reference Station) постоянно действующих опорных станций, накопление данных на которых происходит в круглосуточном режиме.

Ключевые слова: процесс сдвижения, современная геодинамика, деформационные процессы, рудные месторождения, опорный репер, GPS, CORS.

Введение

При контроле процесса сдвижения на горнодобывающих предприятиях одним из основных вопросов является выбор и обоснование методики инструментальных измерений [1]. Ключевой проблемой при этом является выбор опорных (исходных) реперов, пространственное положение которых остается неизменным на весь период мониторинговых наблюдений и свободно от влияния деформационных процессов как естественного (криповые подвижки), так и техногенного (сопровождающих разработку месторождения) происхождения [2].

Иерархически блочная структура породного массива, являющаяся вмещающей средой месторождений полезных ископаемых, предопределяет формирование в массиве горных пород напряженно-деформированного состояния, при этом в условиях нарушения межблочных связей происходит деформирование среды по границам структурных блоков. При масштабной разработке месторождений полезных ископаемых подвижки, вызванные суммарным воздействием естественных и техногенных факторов геодинамических процессов, достигают значительных величин.

Современные геодинамические движения

Экспериментальными исследованиями ИГД УрО РАН выявлены два вида современных геодинамических движений – трендовые (криповые) и циклические. Трендовые движения 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. Зафиксированные инструментальными методами величины трендовых смещений составляют от 0,5 мм/год для имеющих естественную природу, до 200 мм/год для техногенных [2].

Короткопериодные циклические движения имеют широкий полигармоничный спектр частот с продолжительностью циклов от 30–60 с до 1 ч, нескольких часов, суток и более. Максимальные амплитуды вертикальных смещений достигают 85–100 мм, горизонтальных 50–65 мм, а максимальные деформации, вызванные смещениями, достигают по растяжению–сжатию $1,2 \cdot 10^{-3}$, по наклону $2,5 \cdot 10^{-3}$.

Совместное воздействие обоих видов геодинамических движений придает массиву горных пород и земной поверхности постоянную подвижность, которая выступает как естественная форма существования геологической среды (рис. 1). Под их воздействием в массиве горных пород, имеющем иерархически блочную структуру, протекает комплекс сложных геомеханических процессов, из которых для безопасности объектов недропользования имеют значение: деструкция, самоорганизация, переход в тиксотропное состояние и концентрация геодинамических движений в граничных зонах структурных блоков.

* Исследования выполнены в составе интеграционного проекта Президиума УрО РАН № 12-И-5-2050 и гранта РФФИ № 14-05-00324.



Permanent GPS station

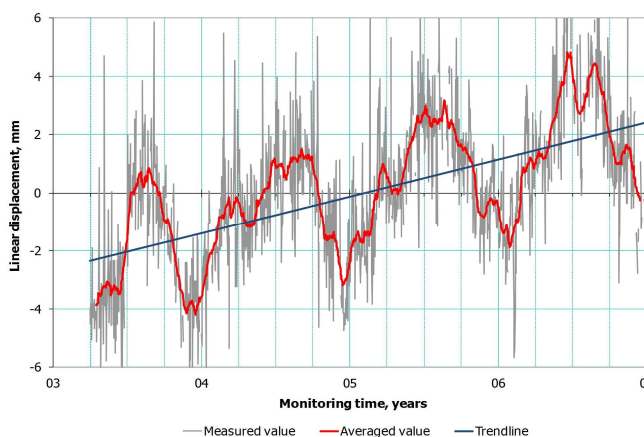


Рис. 1. Трендовые и циклические геодинимические движения по результатам мониторинга на постоянно действующей GPS станции Екатеринбург

Исследование геодинимических движений

По действующим нормативным документам, регламентирующим проектирование и создание наблюдательных станций для контроля процесса сдвига, считается, что опорный репер, находящийся на расстоянии далее чем трехкратной глубины разработки, не подвержен влиянию горных работ, исходя из этого исходные пункты геодезической и маркшейдерской сети, находящиеся вне мульды сдвига, считаются абсолютно неподвижными в плановой и высотной плоскостях.

На сегодняшний день при контроле за процессом сдвига на горных предприятиях России применяются методики, разработанные в 60-х годах XX века институтом ВНИМИ. Действующая редакция «Инструкции по наблюдениям за сдвижением горных пород и земной поверхности при подземной разработке рудных месторождений» утверждена Госгортехнадзором СССР в 1986 г. Развитие современной приборной базы – электронно-цифровых тахеометров и нивелиров и комплексов спутниковой геодезии поставило инструментальные измерения на качественно новый уровень, однако при этом геодезические построения опираются на репера, находящиеся на деформируемом массиве [3].

Фактически современными исследованиями в области геомеханики доказано, что формирование напряженно-деформированного состояния в области недропользования подчиняется более сложным геомеханическим процессам, влияние которых распространяется на значительные территории. Так, ИГД УрО РАН теоретически обосновано и инструментальными измерениями установлено, что деформирование породного массива, вызванное горными работами, охватывает территории площадью несколько сотен квадратных километров [4]. В этих условиях использование в качестве опорных пунктов наблюдательной станции реперов, простран-

ственное положение которых является нестабильным, приводит к неполному учету параметров процесса сдвига.

В последние годы, в связи с развитием систем спутникового позиционирования и широким внедрением их в маркшейдерско-геодезическую практику, появилась возможность при производстве мониторинговых наблюдений за развитием процесса сдвига привязки наблюдательной станции, расположенной в мульде сдвига или прибортовом массиве, производить от исходных пунктов, как правило ГГС (государственной геодезической сети), расположенных вне зоны влияния горных работ. Однако в этом случае минимизация влияния на пространственное положение опорных реперов техногенных факторов не приводит к неизменности их положения вследствие воздействия естественных факторов, таких как криповые подвижки по границам структурных блоков.

Трендовые движения определяются на основе анализа изменений пространственных приращений координат (векторов) ΔX , ΔY , ΔZ между пунктами геодезических сетей или специально оборудованных реперов наблюдательных станций, выполненных в промежутках между повторными циклами измерений (рис. 2).

Использование комплексов спутниковой геодезии GPS и GLONASS позволяет определять сдвига между пунктами мониторинговой геодинимической 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. В случае, если необходимо определение величин и направ-

лений векторов трендовых движений, геодезическая привязка опорных реперов наблюдательной станции и их абсолютное позиционирование осуществляется от пунктов глобальной сети IGS, пространственное положение которых определяется в динамической системе координат ITRF.

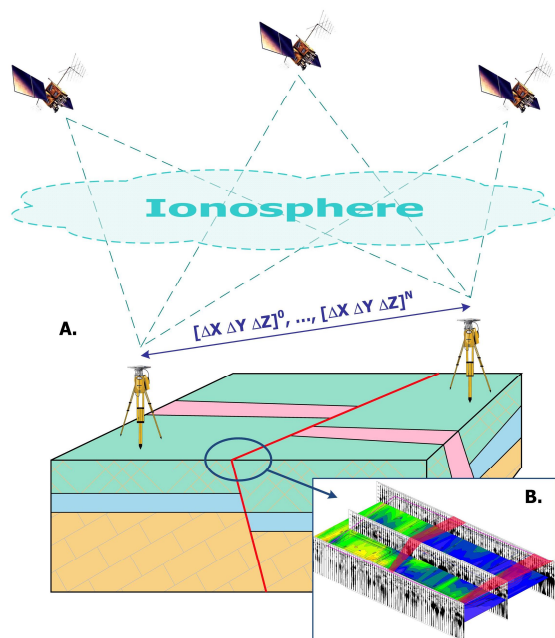


Рис. 2. Методика определения современных геодинамических движений (А) и выявления активных тектонических структур (В)

Пространственная привязка опорных реперов

В ходе исследований по идентификации относительных деформаций и установлении их взаимосвязи с абсолютными подвижками была определена возможность построения наблюдательных станций, пространственная привязка которых осуществляется от пунктов глобальной сети IGS, абсолютные координаты которых определяются в динамической системе координат ITRF.

На Урале находится только одна IGS станция, длина векторов до других, стабильно работающих станций MOBN (Москва), ZECK (Зеленчукская), NVSK (Новосибирск) и SELE (Алматы) составляет 1600–1800 км, поэтому для обеспечения необходимой точности координатных определений необходимо поддержание базовых приемников в круглосуточном режиме, что не всегда достижимо в реальных полевых условиях.

Для целей практического использования привязка опорных реперов наблюдательных станций к сети IGS может быть осуществлена с использованием CORS (Continuously Operating Reference Station) постоянно действующих опорных станций, накопление данных на которых

происходит в круглосуточном режиме [5].

Так, для месторождений Среднего и Южного Урала привязка опорных реперов наблюдательных станций может осуществляться с использованием постоянно действующих GPS станций, работающих в Екатеринбурге, Челябинске, Нижнем Тагиле и др. При этом средне-квадратическая ошибка определения пространственных координат, по результатам статистической обработки серии из 10 суточных измерений, составляет 2–3 мм по каждой координатной оси в геоцентрической системе координат, что является достаточным для абсолютной привязки наблюдательных станций и геодинамических полигонов [6].

Поскольку основной особенностью исследования деформаций породного массива в мониторинговом режиме является многократное, от цикла к циклу, выполнение точных геодезических измерений на одних и тех же пунктах сети, по одной программе работ с дальнейшим анализом изменений геометрических взаимосвязей между реперами, при выполнении исследования отсутствует необходимость перевода координат реперов наблюдательной станции в принятую статичную государственную или местную систему координат с установлением достаточно сложных коэффициентов перехода между статичной и динамической системами (рис. 3).

Одним из ограничений, препятствующих широкому применению привязки опорных реперов наблюдательных станций к сети IGS, является необходимость использования в качестве связующего звена постоянно действующих GPS-станций или поддержание базовых приемников в круглосуточном режиме, что не всегда достижимо в реальных полевых условиях. В настоящее время в ИГД УрО РАН проводятся исследования по возможности высокоточной привязки опорных реперов к сети IGS с использованием локальных базовых станций, состоящих из двух и более синхронно работающих GPS-приемников. Как правило, при проведении мониторинговых наблюдений обеспечивается накопление спутниковых данных на полевых референсных станциях в течение нескольких дней подряд, по 8–10 ч на серию, что дает предпосылки для их использования в качестве переходного звена в привязке к глобальным геодезическим сетям.

Поставлен ряд экспериментов, в ходе которых прорабатывались альтернативные варианты геодезической привязки опорных реперов геодинамических полигонов Высокогорского ГОКа, Качканарского ГОКа и Пунгинского подземного хранилища газа, при этом установлена принципиальная возможность получения координат полевых станций с точностью порядка 5 мм от пунктов глобальной сети IGS, в настоящее время прорабатываются варианты практической реализации.

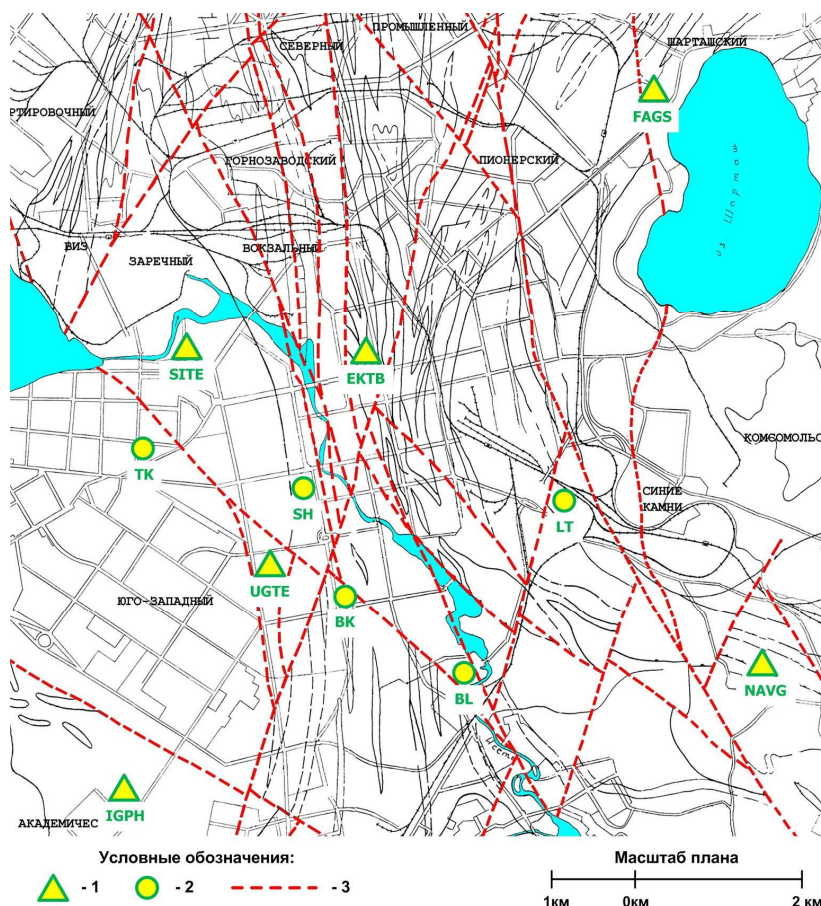


Рис. 3. Схема геодинимического полигона г.Екатеринбурга с постоянно действующими GPS-станциями:
1 – постоянно действующие GPS-станции; 2 – репера геодинимического полигона;
3 – тектонические нарушения

Заключение

Разработана методика абсолютной привязки опорных реперов наблюдательных станций к CORS для центрирования и ориентирования в динамической системе координат сетей более низкого иерархического уровня, охватывающих непосредственно мульд сдвижения при подземном и прибортовой массив при открытом способах разработки. Использование в качестве геодезической основы опорных реперов для контроля процесса сдвижения, которые могут считаться относительно свободными от влияния естественных и техногенных деформационных процессов, сопровождающих разработку глубокозалегающих месторождений Урала, позволит более полно учитывать влияние негативных последствий ведения горных работ.

Список литературы

1. Панжин А.А., Панжина Н.А. Об особенностях проведения

геодинимического мониторинга при разработке месторождений полезных ископаемых Урала с использованием комплексов спутниковой геодезии // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых (ФТПРПИ). 2012. № 6. С. 46–55.

2. Панжин А.А. Роль тектонических нарушений в процессе сдвижения на рудниках Высокогорского ГОКа // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2005. № 4. С. 131–136.
3. Панжин А.А. Исследование сдвижений земной поверхности при разработке месторождений с применением площадных инструментальных методов // Изв. вузов. Горный журнал. 2009. № 2. С. 69–74.
4. Панжин А.А. Исследование гармоник квазипериодических временных деформаций породного массива на больших пространственно-временных базах // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2010. № 9. С. 313–321.
5. Панжин А.А. Исследование деформирования породных массивов на больших пространственно-временных базах с использованием постоянно действующих станций // Изв. вузов. Горный журнал. 2008. № 8. С. 59–66.
6. Панжин А.А. Решение проблемы выбора опорных реперов при исследовании процесса сдвижения на объектах недропользования // Маркшейдерия и недропользование. 2012. №2. С. 51–54.

STUDY OF CORS GEODYNAMIC MOVEMENTS TO SUBSTANTIATE CONTROL METHODS OF THE DISPLACEMENT PROCESS IN DEPOSITS OF THE URAL REGION

Panzhin Andrey Alexeevich – PhD (Eng.), Scientific Secretary, Institute of Mining, UB, RAS, Ekaterinburg, Russia. Phone: +7(343)350 44 76. E-mail: panzhin@igduran.ru.

Abstract. This paper gives a solution to the problem of choosing survey marks to control the displacement process, which can be considered relatively free from the influence of natural and man-made deformation processes accompanying the development of deep deposits of the Urals. For the purposes of a practical use survey marks of monitoring stations may be bound to the IGS network using CORS (Continuously Operating Reference Stations), which continuously accumulate data.

Keywords: process of displacement, modern geodynamics, deformation processes, ore deposits, survey mark, GPS, CORS.

References

1. Panzhin A.A., Panzhina N.A. Satellite geodesy-aided geodynamic monitoring in mineral mining in the Urals. *Journal of Mining Science*, 2012, no. 48(6), pp. 982-989.
2. Panzhin A.A. The role of tectonic disturbances in the process of shifting the mines of the Vysokogorsky Ore Mining and Processing Plant. *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 2005, no. 4, pp. 131-136.
3. Panzhin A.A. Study of the Earth's surface displacement when developing ore deposits using areal instrumental procedure. *News of higher educational institutions. Mining Journal*, 2009, no. 2, pp. 69-74.
4. Panzhin A.A. Study of harmonics of quasiperiodic modern rock mass deformations in large spatial-temporal bases. *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 2010, no. 9, pp. 313-321.
5. Panzhin A.A. Study of deformation of rock masses in large spatial-temporal bases using continuously operating stations. *News of higher educational institutions. Mining Journal*, 2008, no. 8, pp. 59-66.
6. Panzhin A.A. Solving the problem of the choice of survey marks in the study of the displacement process at the facilities of subsoil use. *Mine surveying and subsoil use*, 2012, no. 2, pp. 51-54.

УДК 622.341; 669.162

РАЗРАБОТКА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ОСНОВ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫСОКОМАГНЕЗИАЛЬНЫХ СИДЕРИТОВ

Клочковский С.П., Смирнов А.Н., Савченко И.А.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

Аннотация. В статье приведены результаты исследований, которые могут быть положены в основу модернизации ныне применяемой технологии, или использованы для разработки основ технологии комплексной переработки высокомагнезиальных сидеритов, удовлетворяющей современным экологическим требованиям. Установлено, что применение разработанных принципов для переработки сидеритовых руд Бакальского месторождения позволяет получать два продукта: железорудный концентрат с содержанием железа на уровне 60% (против 50–52% по применяемой технологии) и магнезию, с содержанием оксида магния не ниже 98%.

Ключевые слова: сидеритовая руда, оксид магния, обжиг, выщелачивание, угольная кислота, магнезиоферрит, магнезиовустит, рентгеноструктурный анализ.

Введение

Проблема повышения качества, конкурентоспособности и роста объемов потребления железорудного сырья вызывает необходимость вовлекать в производство руды, которые по тем или иным причинам не могли быть использованы в металлургии или использовались в ограниченных объемах. К таковым относятся сидериты с высоким содержанием оксида магния, например руды Бакальского месторождения (Россия,

Челябинская область), запасы которых составляют свыше 1 млрд т. Бакальские сидериты обладают высокой стабильностью химического состава, низким содержанием вредных примесей: фосфора менее 0,05%, серы 0,1–0,3%. В то же время содержание оксида марганца в них доходит до 2%. Всё это делает бакальские сидериты перспективным сырьем как для получения высококачественных сталей, так и реализации процессов прямого восстановления железа. Основным препятствием, ограничивающим широкое использование бакальских сидеритов, является относительно низкое содержание же-